

ANÁLISE COMPARATIVA DOS CRITÉRIOS DO CÓDIGO ASME,
SEÇÃO VIII DIVISÃO 1 E DIVISÃO 2, PARA TENSÕES DE
CASCAS DELGADAS DE REVOLUÇÃO, USANDO O MÉTODO DOS
ELEMENTOS FINITOS.

ÂNGELA GUIMARÃES

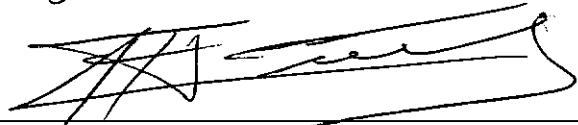
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO
DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.) EM ENGENHARIA
CIVIL.

Aprovada por:


Prof. VICTOR PRODONOFF


Prof. LUIZ LANDAU


Prof. SÉRGIO FERNANDES VILLAÇA


Prof. AUGUSTIN JUAN FERRANTE

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 1987

GUIMARÃES, ÂNGELA

Análise Comparativa dos Critérios do Código ASME, Seção VIII Divisão 1 e Divisão 2, para Tensões de Cascas Delgadas de Revolução, usando o Método dos Elementos Finitos (Rio de Janeiro) 1987.

XIV, 134, 29.7cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 1987)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Vasos de Pressão 2. Código ASME
I. COPPE/UFRJ II . Título (série)

Aos meus pais pela
eterna presença viva
dos seus valores.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Victor Prodonoff pelo apoio, atenção e orientação do desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores Luiz Landau, Augustin Juan Ferrante, Álvaro Maia Costa, Sérgio Fernandes Villaça e Sydney Martins Gomes dos Santos pelo apoio, estímulo e ensinamentos recebidos.

Ao Heitor Augusto de Araújo Filho pelas soluções e amizade.

Ao Ivan Bragança M. Falcão pelo grande apoio.

Aos amigos da Petrobrás, em especial os da Biblioteca, Aldemir Bonfim dos Santos e Eduardo Marques, por tudo.

Aos Professores, colegas e funcionários da COPPE/UFRJ.

A Capes e Petrobrás especialmente à Divisão de Projetos Mecânicos através do Dr. Irineu Soares, pelo auxílio financeiro concedido.

Ao Dr. Francisco Costa , Carlos Eduardo Peçanha e Ronaldo B. Nazareth pelo estímulo e amizade.

A Mônica Caruso Stoque, Izabel Christina Barreto Correa, Carlos Alberto dos Santos , Antonio Carlos dos Reis Albuquerque, pela elaboração gráfica deste trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE COMPARATIVA DOS CRITÉRIOS DO CÓDIGO ASME, SEÇÃO VIII
DIVISÃO 1 E DIVISÃO 2, PARA TENSOES DE CASCAS DELGADAS DE
REVOLUÇÃO, USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.

Ângela Guimarães

Março de 1987

Orientador: Prof. Victor Prodonoff

Prof. Luiz Landau

Programa: Pós-Graduação em Engenharia Civil

Com a grande utilização de Vasos de Pressão na indústria, principalmente a petroquímica, torna-se importante a otimização de um projeto estrutural.

Objetiva-se neste trabalho interpretar as tensões calculadas pelo Método de Elementos Finitos, e torná-las comparáveis com as do ASME - Código de Projetos de Vasos de Pressão, Seção VIII Divisão 2. Esta divisão trata da análise detalhada das tensões em função do carregamento e sua localização, fornecendo tensões admissíveis diferentes. É feito também uma diferenciação com a Divisão 1, que utiliza apenas as tensões de membrana e a mesma tensão admissíveis para qualquer carregamento.

São apresentadas aplicações que exemplificam espessuras obtidas nos dois critérios do Código.

Utilizam-se dois programas computacionais, de modo a se obter as tensões resultantes, tensões máximas cisalhantes, que são comparadas com as diversas tensões admissíveis estabelecidas pelo Código.

Abstracts of Thesis Presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

Comparative Analysis of ASME Code criterion, Section VIII Division 1 e Division 2, for Thin Shell Stresses of Revolution, using the Finite Element Method.

Guimarães, Ângela

March, 1987

CHAIRMAN: PHD Victor Prodonoff

D.Sc Luiz Landau

Department: Civil Engineering

In view of the wide industrial use of Pressure Vessels, mainly in the petrochemical processes, their in strutural design optimization is becoming important.

The aim of this work is the interpretation of the stresses calculated by the Finite Element Method, and to compare them with those of ASME Code-Pressure Vessel, Section VIII Division 2. This Division deals with detailed stress analysis in function of the load and its location, providing different allowable stresses. This is an improvement over Division I, that user only the membrane stress and the same allowable stress for any part of the structure.

Examples shown obtain the thickness of the structures using both Div. 1 e Div. 2, thus comparing their values, through the different allowable stresses.

Two Computer programs are used, in order to obtain the resulting stresses, the maximum difference between the principal stresses, which are compared to those established by the Code.

ÍNDICE**I - VASOS DE PRESSÃO**

I.1 - Introdução	1
I.2 - Descrição do equipamento	1
I.3 - Materiais	2
I.4 - Etapas de projeto	
I.4.1 - Projeto de Processo	4
I.4.2 - Projeto Mecânico	6
I.4.3 - Projeto de Fabricação	9
I.5 - Códigos de projeto utilizados em vasos de pressão .	11
I.6 - Comentários	13
I.7 - Ilustrações	14

II - CÓDIGO ASME

II.1 - Introdução	20
II.2 - Seção VIII, Divisão 1 e Divisão 2	22
II.2.1 - Divisão 1	22
II.2.2 - Divisão 2	23
II.2.3 - Comentários	24

III - CONCEITOS BÁSICOS

III.1 - Introdução	27
III.2 - Critérios de Escoamento	27
III.2.1 - Introdução	27
III.2.2 - Estado de Tensão	28
III.2.3 - Teorias de Resistência	29
III.2.3.1 - Teoria de Tensão Máxima ou Teoria de Rankine	29
III.2.3.2 - Teoria de Energia de Distorção ou Teoria de Von Mises	31
III.2.3.3 - Teoria do Cisalhamento Máximo (ou Teoria de Tresca)	32

IV - ANÁLISE DE TENSÕES EM UM PROJETO

IV.1 - Introdução	34
IV.2 - Intensidade de Tensão - S	35
IV.3 - Categoria de Tensões	36
IV.3.1 - Tensões Primárias (Pm, Pl e Pb)	37
IV.3.2 - Tensões Secundárias (Q)	38
IV.3.3 - Tensões Máxima Localizadas (F)	39
IV.3.4 - Modos de Falha	39
IV.3.5 - Comentários	41
IV.4 - Tabelas	42

V - PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

V.1 - Introdução	49
V.2 - ADEP	
V.2.1 - Elemento TGCP e SIEL.....	50
V.3 - AEPES	51

VI - EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DO CÓDIGO ASME

VI.1 - Introdução53

VI.2 - Análise pelo programa AEPES

VI.2.1 - Casca Esférica com pressão interna53

VI.2.2 - Vaso de pressão com pressão interna57

VII - CONCLUSÕES

VII.1 - Conclusões Gerais.....71

VII.2 - Futuros Desenvolvidas73

APÊNDICE 1

Tabela 1 - Falha de Eficiência de Junta (E)75

APÊNDICE 2

Dados de saída dos programas AEPES e ADEP77

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS133

CAPÍTULO I

VASOS DE PRESSÃO

I.1 - INTRODUÇÃO

Vasos de Pressão são reservatórios utilizados para o armazenamento ou processamento de fluidos submetidos a pressão ou vácuo constituindo-se normalmente em estruturas de alto risco operacional e elevado custo.

Seu uso é bastante difundido nas indústrias química, farmacéutica, petroquímica, refinarias, terminais de armazenagem e distribuição de petróleo e derivados e em plataformas de produção de Petróleo.

I.2 - DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

Nos vasos de pressão distinguimos os seguintes componentes:

- Corpo ou casco: cilíndrico, esférico, cônico e mistos.
- Tampos: semi-elípticos, toro-esféricos, cônicos, plano, etc.
- Posição de instalações: vertical, horizontal, inclinada.

- Dimensões características: diâmetros interno e externo, comprimento entre tangentes.
- Aberturas (bocais, bocas de visita, etc.), e respectivos reforços (disco de chapa soldado, peças forjadas, etc.).
- Acessórios internos (bandejas, grades, estratores) e externos (anéis de suporte de isolamento térmico , reforços de vácuo, chapas de ligação, orelhas, ou cantoneiras para suporte de tubulação).
- Suportes (berços, saia de chapa, sapatas ou colunas).

I.3 - MATERIAIS

A seleção dos materiais adequados a cada uma das partes de um vaso de pressão é um dos problemas mais difíceis para o projetista do equipamento.

Os fatores gerais de influência na seleção de materiais são:

- Condições de serviço de equipamento
(Pressão e Temperatura de Operação)
- Nível e natureza das tensões atuantes

- Flúidos em contato
(Natureza e concentração, impureza, etc...)
- Custo e Segurança
- Facilidade de Fabricação
(Soldabilidade, conformação, etc...)
- Tempo de vida previsto para o equipamento
- Disponibilidade
- Experiência prévia.

Para os cascos, tampos e todas as outras partes do vaso submetidas à pressão exige-se que sejam especificados no projeto de materiais qualificados. Como regra geral só são admitidos materiais qualificados reconhecidos pelas normas ASME Seção II e Seção VIII.

O material mais comumente utilizado na construção dos vasos de pressão é o aço carbono ou aço de baixa liga. O código ASME aprova a utilização de cerca de 34 graus de aços carbono e 44 de aços de baixa liga para chapas utilizadas na fabricação de vasos de pressão. Um dos principais problemas na escolha do material está relacionado a sua temperatura (alta ou baixa) de operação.

I.4 - ETAPAS DE PROJETO

O projeto de um vaso de pressão é feito tendo em vista condições específicas de funcionamento e as características do equipamento, sendo normalmente subdividido nas seguintes etapas: Projeto do Processo, Projeto Mecânico e Projeto de Fabricação.

I.4.1 - Projeto de Processo

O projeto de processo começa com o que denominamos "Definição dos dados de processo do equipamento". Entre esses dados, relativos à condição operacional do equipamento incluem-se os seguintes:

- a) Tipo geral do equipamento.
- b) Natureza, propriedades, vazão, temperatura e pressão de todas as correntes fluídas que entram ou que saem do equipamento.
- c) Temperaturas e pressões de operação do equipamento.
- d) Volume armazenado
- e) Posição de instalação

- f) Posição e elevação dos bocais
- g) Elevação necessária do equipamento
- h) Exigências quanto a não contaminação do fluido contido
- i) Instruções para condicionamento do equipamento para a partida e parada.

O projeto de processo propriamente dito consistirá na determinação das dimensões gerais do equipamento que interfiram com seu funcionamento e na definição de todos os detalhes do próprio equipamento ou de suas peças internas que também interfiram no funcionamento do equipamento.

As informações que fazem parte do projeto de processo são:

- a) Desenho esquemático do equipamento
- b) Dimensões gerais do equipamento
- c) Tipos de tampos
- d) Diâmetro nominal de todos os bocais ligados à tubulações.

- e) Tipo, localização, formato, dimensões gerais, espaçamento e detalhes de peças internas.
- f) Indicação dos bocais para todos os instrumentos ligados ao equipamento.
- g) Necessidade ou não de isolamento térmico, revestimento refratário, ou outro qualquer revestimento, e finalidade do isolamento ou do revestimento.
- h) Exigências especiais quanto ao transporte, montagem, desmontagem, manutenção e inspeção de peças internas.
- i) Condições especiais de corrosão, erosão ou de exigência de materiais.

I.4.2 - Projeto Mecânico

O Projeto Mecânico consiste na especificação de todos os materiais, definição das dimensões finais do equipamento, dimensionamento dos principais componentes estruturais, e o desenho mecânico do equipamento.

O projeto mecânico de vasos de pressão inclui obrigatoriamente a definição ou o cálculo dos seguintes dados referentes ao vaso:

- a) Especificação completa de todos os materiais do vaso e de todas as suas partes e acessórios, tais como: flanges, bocais, suportes, espelhos e tubos internos, peças internas e externas, parafusos, juntas e revestimentos. A especificação deve ser feita com a identificação completa, incluindo classe, tipo e grau do material.
- b) Definição das dimensões finais do equipamento.
- c) Seleção do tipo de tampos, se não for definido por exigência de processo.
- d) Definição das normas de projeto, fabricação, montagem e teste dos equipamentos.
- e) Determinação das condições de projeto do equipamento
- f) Definição das eficiências de solda, tipo e grau de inspeção das soldas.
- g) Cálculo mecânico (estrutural) completo do vaso, incluindo as espessuras de todas as partes do vaso, reforços, flanges especiais, suportes, espelhos, peças internas e externas, incluindo a definição dos valores de sobreespessura de corrosão.
- h) Dimensões e espessuras das chapas de base de saia, colunas, berços ou outros suportes do vaso.

- i) Definição das posições finais (elevação e orientação) dos bocais, bocas de visita, instrumentos, peças externas, etc.
- j) Cálculo da pressão máxima admissível e da pressão de teste hidrostático.
- l) Cálculo dos pesos aproximados do vaso quando vazio, em operação, parada e teste hidrostático.
- m) Definição das condições de transporte de vaso (inteiro ou em seções).
- n) Desenho mecânico completo do vaso.
- o) Diagrama de carga sobre as fundações.
- p) Tipo, diâmetro e posição de todos os parafusos chumbadores.

O projeto mecânico deve incluir também, nos casos que forem aplicáveis:

- a) Especificação de tratamento térmico.
- b) Especificação e detalhamento de revestimento (ou pintura especial) interno ou externo, incluindo-se revestimento anti-corrosivo refratário.

- c) Seleção e especificação de isolamento térmico, dos tipos de suporte do isolamento térmico e distância entre suportes.
- d) Especificações para montagem, testes e inspeção, no campo.
- e) Especificações de soldagem.
- f) Verificação de tensões devido a cargas localizadas e reações de tubulações sobre os bocais do vaso.
- g) Cálculo dos deslocamentos devido à dilatação térmica do próprio vaso.

Quando aplicável, o projeto mecânico deve ainda incluir especificações contendo exigências ou recomendações especiais relativas a processos especiais de soldagem, de inspeção, tratamentos térmicos especiais, revestimentos especiais, tolerâncias dimensionais não usuais, sequência de montagem ou de soldagem, desmontagens especiais e outras exigências não cobertas por normas.

I.4.3 - Projeto de Fabricação

O projeto para fabricação consiste no detalhamento do equipamento para permitir sua fabricação e montagem.

Compreende portanto a verificação e complementação do projeto mecânico, com o acréscimo de dados e informações adicionais, tais como:

- a) Desenhos dimensionais.
- b) Desenhos de fabricação.
- c) Desenhos com detalhes das soldas.
- d) Procedimentos de soldagem, incluindo a qualificação dos procedimentos de soldagem e a dos operadores e soldados.
- e) Sequência de soldagem, localização de todas as soldas e cortes.
- f) Procedimentos de montagem.
- g) Procedimentos para realização de exames não destrutivos, incluindo a qualificação dos procedimentos e operadores, quando necessário.
- h) Procedimentos para realização de teste hidrostático.

- i) Estudos de aproveitamento de materiais.
- j) Numeração e relacionamento de todas as peças componentes do equipamento.
- l) Detalhamento e dimensionamento completo de todas as partes não dimensionadas no projeto mecânico. (peças internas, externas, orelhas para escadas e plataformas, etc...).
- m) Detalhes de usinagem e tolerâncias especiais.
- n) Procedimentos para transporte e condicionamento.

I.5 - CÓDIGOS DE PROJETO UTILIZADOS EM VASOS DE PRESSÃO.

O método tradicional para o projeto de vasos de pressão baseia-se na existência de Códigos de Projeto, os quais embora geralmente proporcionem a operação segura da maioria dos vasos, nem sempre conduzem a um projeto mais econômico e suficientemente seguro.

Os principais códigos relacionados com o projeto, fabricação, montagem e testes de vasos de pressão são os seguintes:

- **B.S.5500**

Elaborado pela British Standards Institution, o código B.S.5500, Unfired Fusion Welded Pressure Vessels, aborda aspectos relativos a materiais, projeto, fabricação, inspeção e testes dos vasos de pressão. Inclui vários apêndices, entre os quais destacamos o seguinte:

- Apêndice A, que trata do critério para análise de tensões para equipamentos ou condições de projeto que não puderem ser enquadrados nas fórmulas mais simplificadas de cálculo.

- **A.D.Merkblatt**

Código Alemão, elaborado pela Associação dos Construtores de Vasos de Pressão.

- **Código SNCT (Calcul des Appareils à Pression)**

Elaborado pelo Syndicat National de La Chaudronnerie, Tolerie et Tuyauterie Industrielle. Inclui dados relativos ao projeto de vasos de pressão contendo além das regras e recomendações propriamente ditas, extensos comentários justificativos. Aborda métodos de cálculo para pressão interna e externa e outros carregamentos.

- ISO-DIS 2694

Elaborada sob responsabilidade da "International Standard Organization", pelo Technical Committee nº 11 (TC-11), a norma DIS 2694 é baseada nas normas européias. Esta norma destina-se a ser adotada em todos os países membros da ISO.

- P-NB-109 - Norma Brasileira (ABNT)

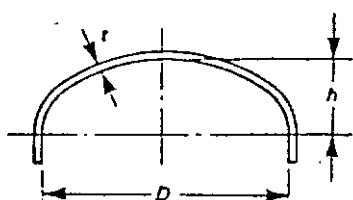
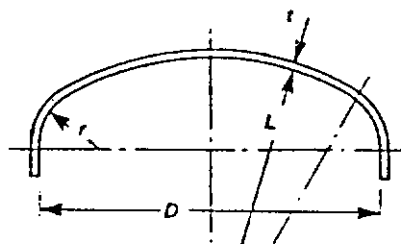
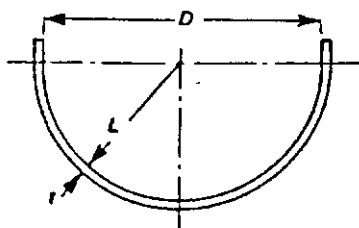
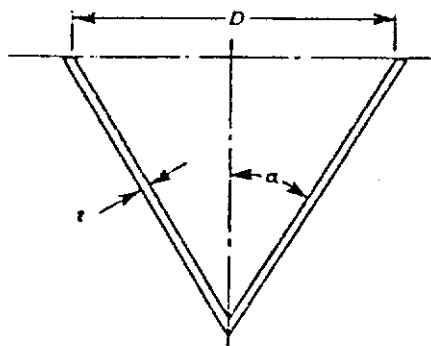
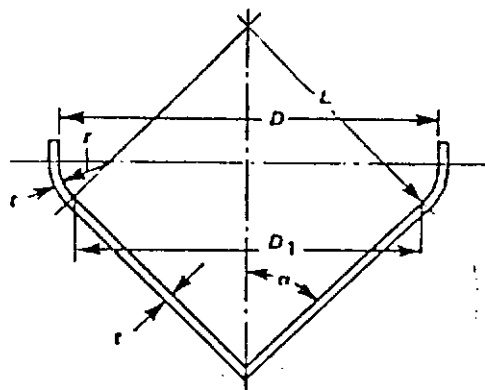
A norma brasileira de vasos de pressão, ainda como projeto de norma, P-NB-109, foi baseada no Código ASME.

- Código ASME (American Society of Mechanical Engineers)

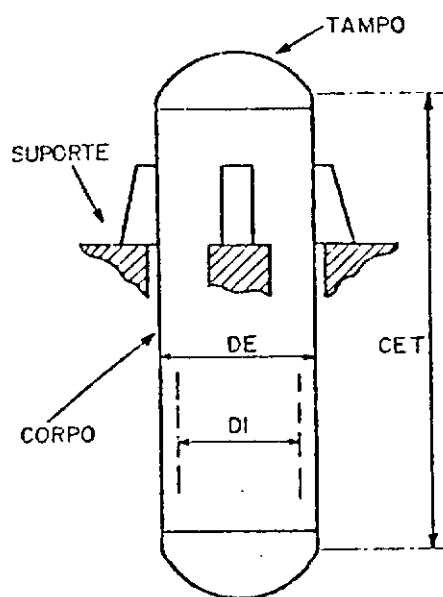
"ASME - Boiler and Pressure Vessel Code"

I.6 - COMENTÁRIO

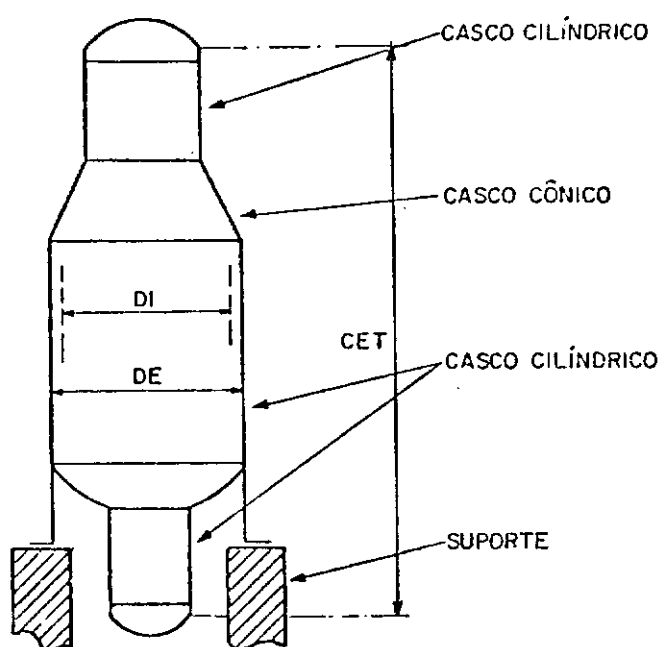
O Código para vasos de pressão (e caldeiras) do ASME é o mais conhecido e de uso mais vasto, devido à riqueza de experiência em que é baseado e o fato de ser mais completo e de aplicação mais ampla.

ELIPSOIDALTOROESFÉRICOHEMISFÉRICOCÔNICOTOROCÔNICO

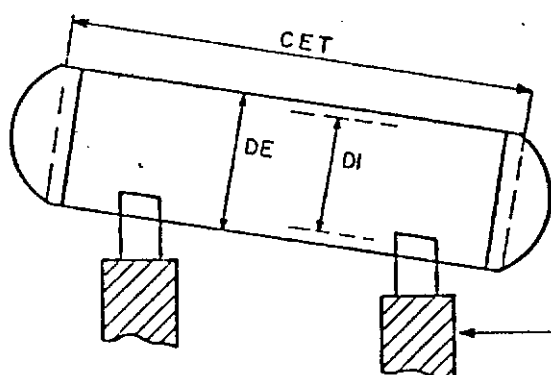
PRINCIPAIS DIMENSÕES DE TAMPOS TÍPICOS



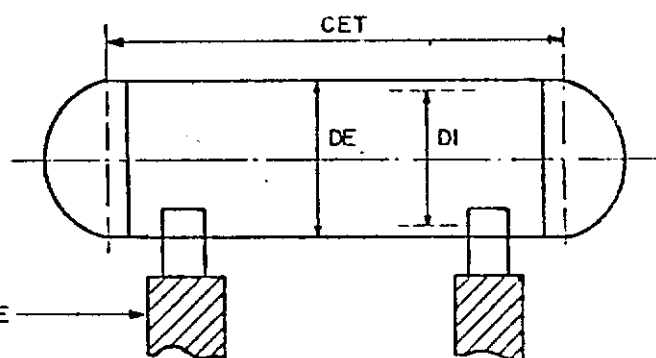
CILÍNDRICO VERTICAL



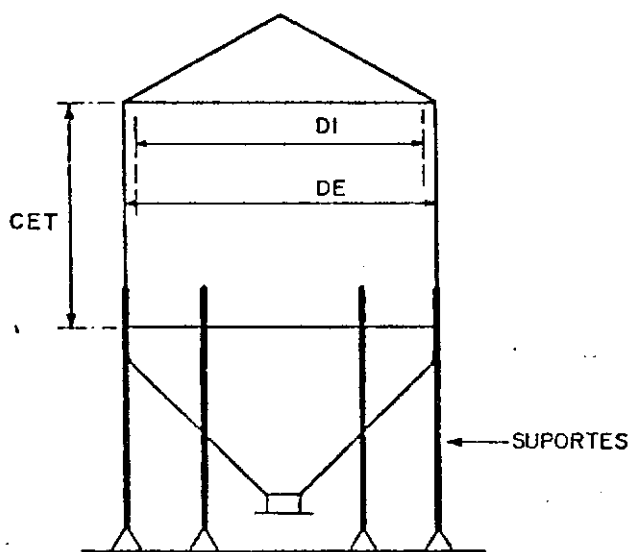
CILÍNDRICO VERTICAL MODIFICADO



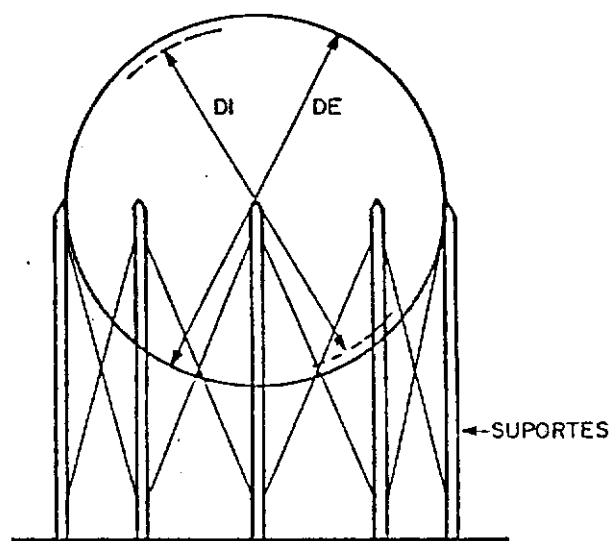
CILÍNDRICO INCLINADO



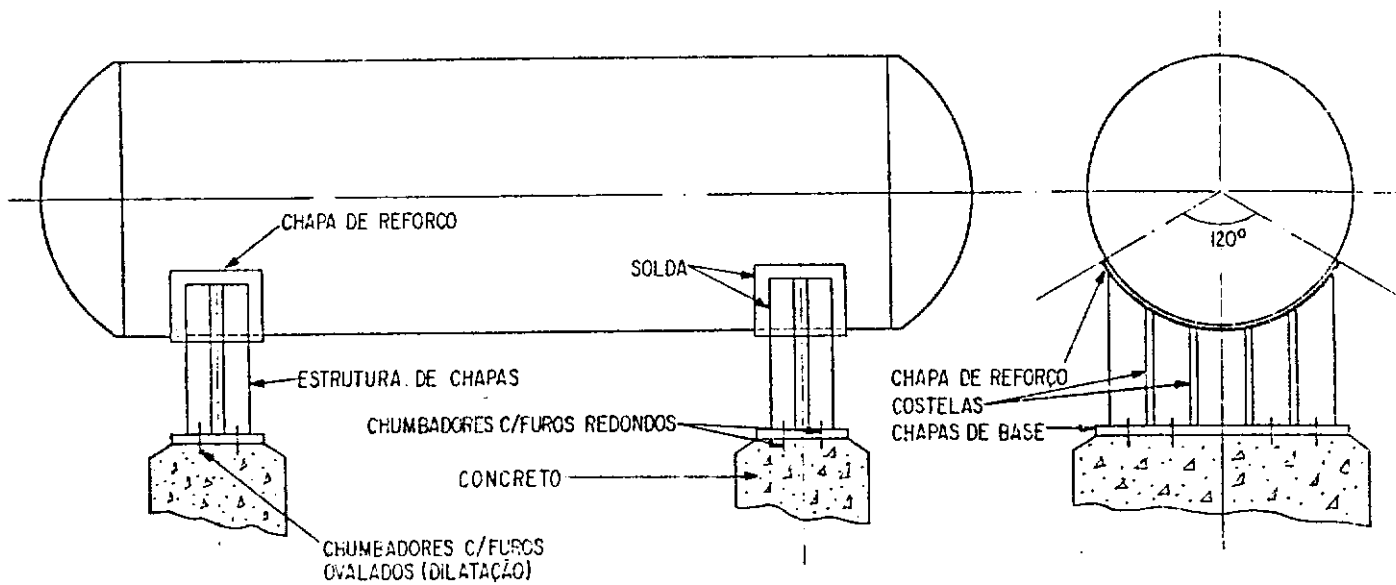
CILÍNDRICO HORIZONTAL



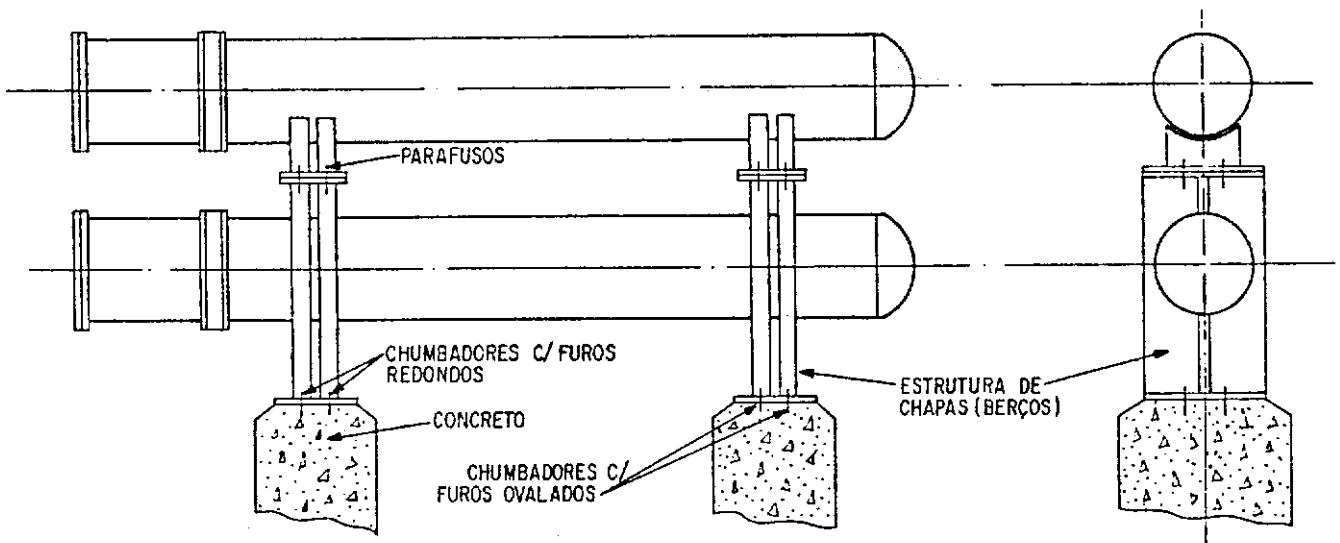
CILÍNDRICO CÔNICO



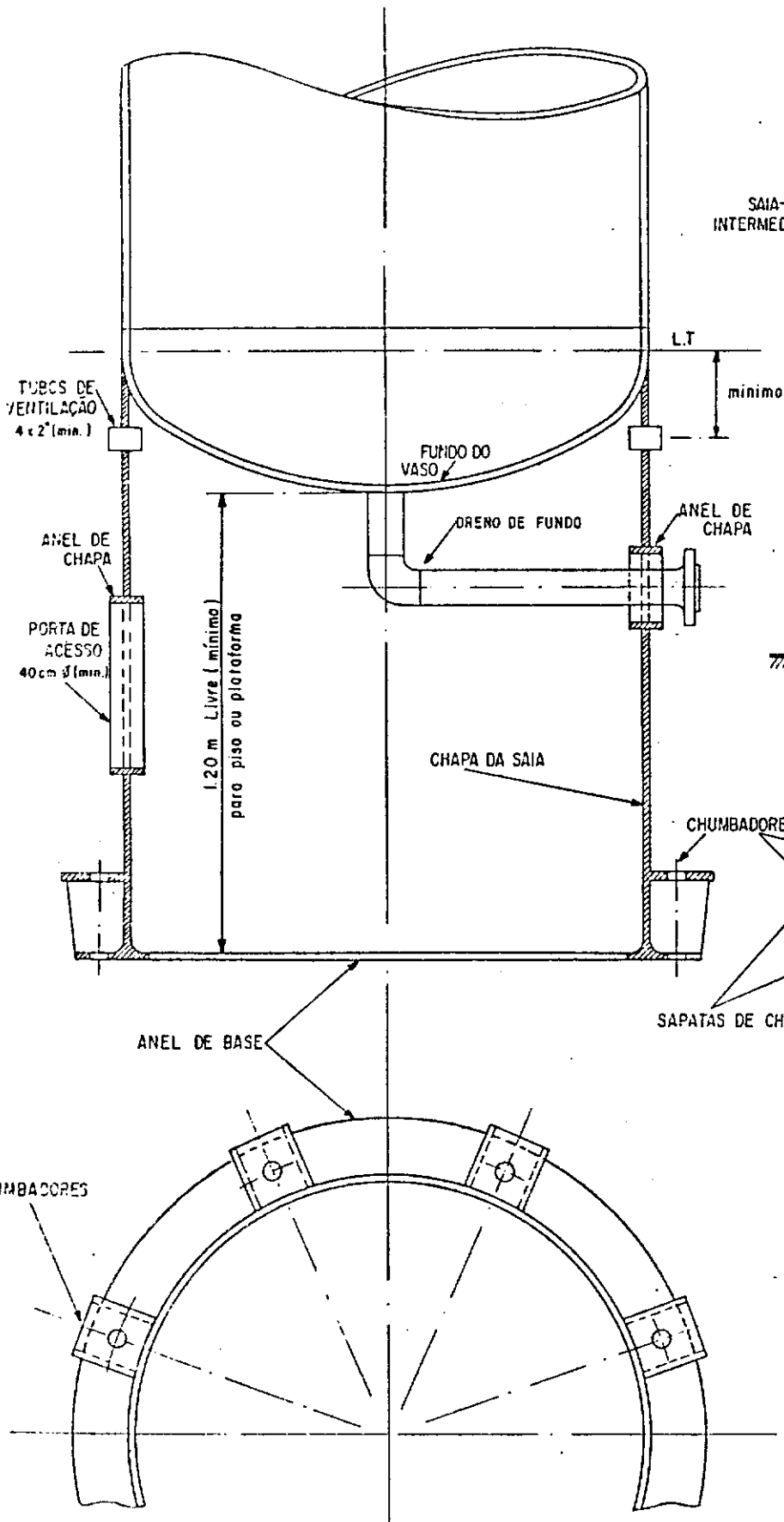
ESFÉRICO



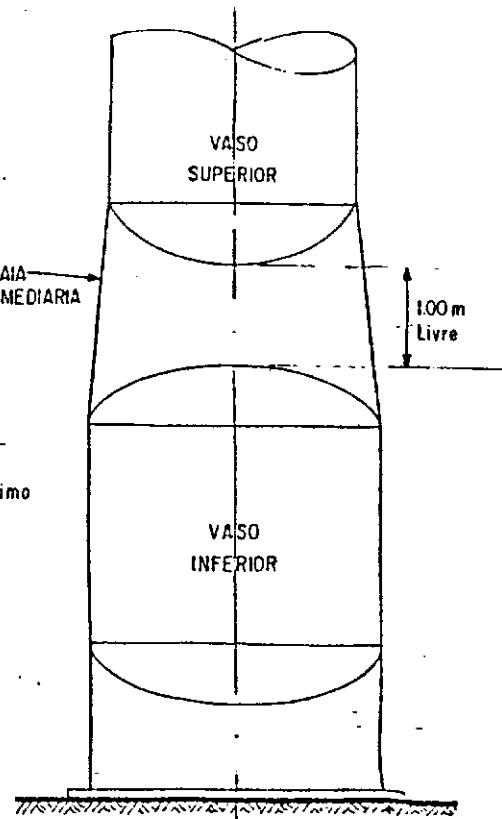
a) VASO SUPORTADO EM BERÇOS



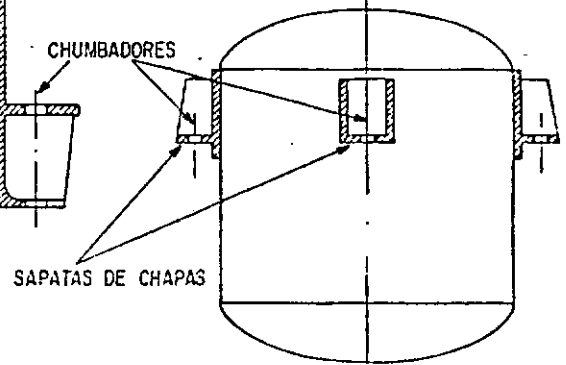
b) VASOS HORIZONTAIS SUPERPOSTOS



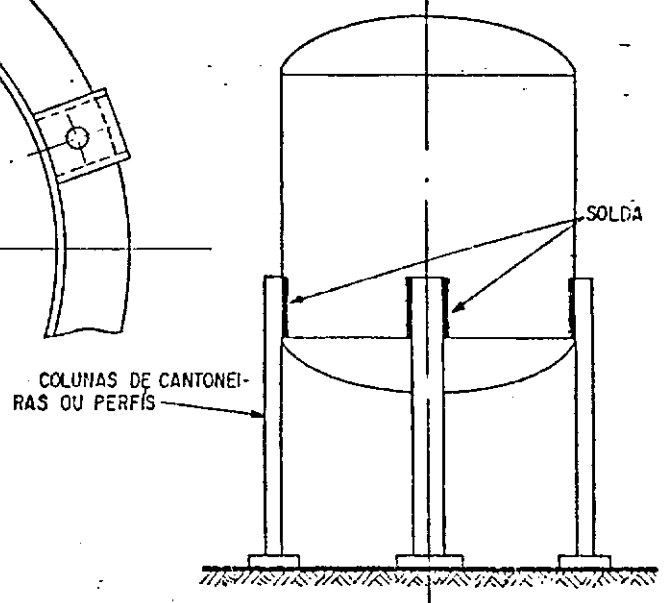
a) VASO SUPORTADO POR SAIA



b) VASOS SUPERPOSTOS



c) VASO SUPORTADO EM SAPATAS



d) VASO SOBRE COLUNAS

①, ② : ABERTURAS RADIAIS EM CASCO CILÍNDRICO

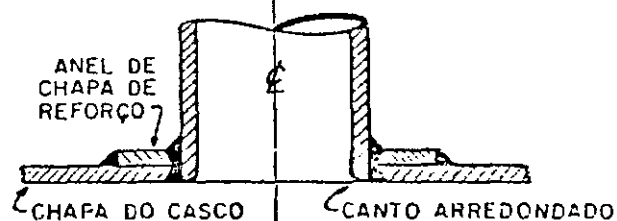
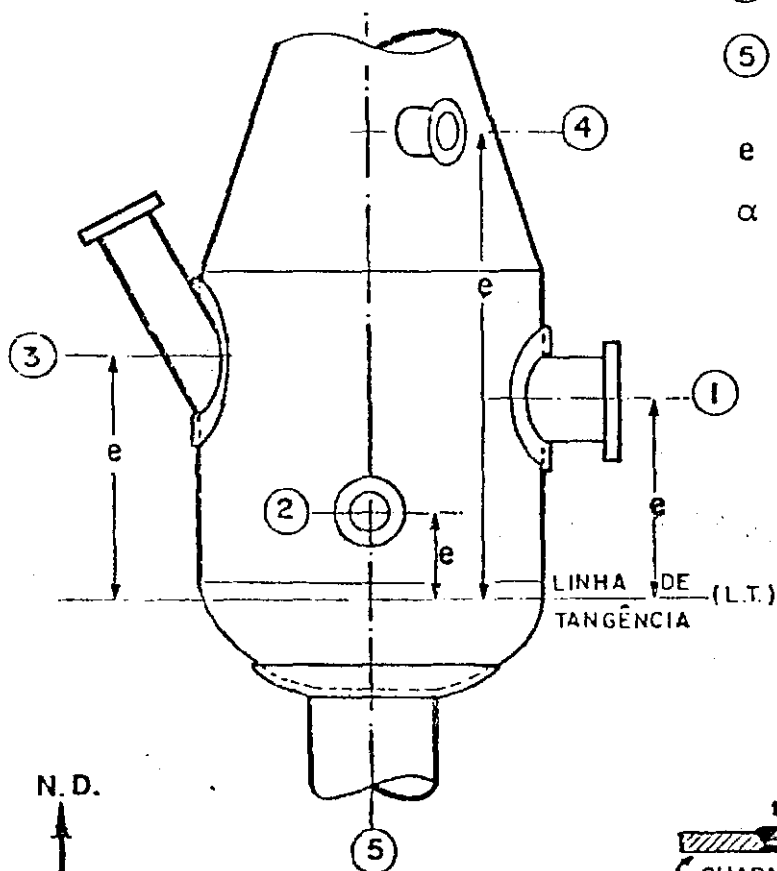
③ : ABERTURA INCLINADA EM CASCO CILÍNDRICO

④ : ABERTURA EM CASCO CÔNICO

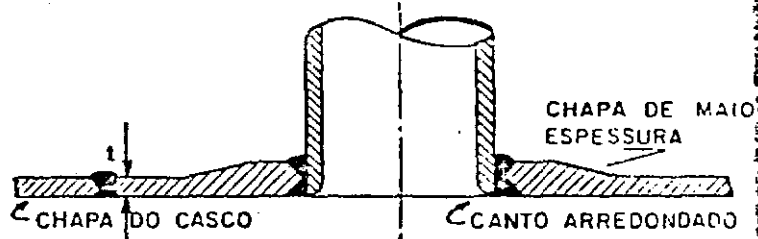
⑤ : ABERTURA EM TAMPO

e : ELEVAÇÕES DE REFERÊNCIA DAS ABERTURAS

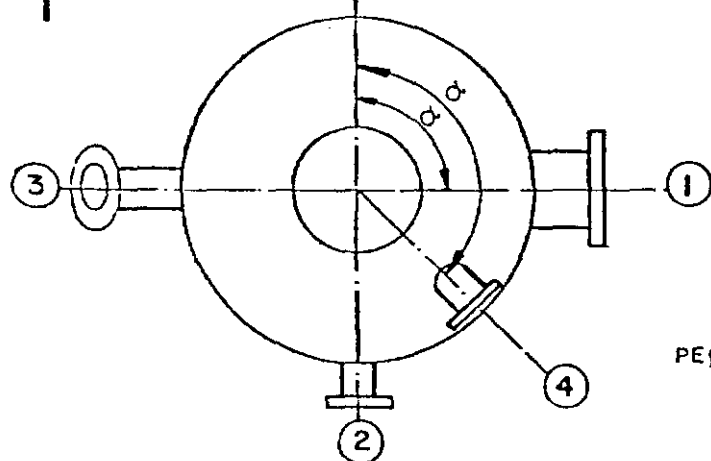
α : ÂNGULOS DE ORIENTAÇÃO DAS ABERTURAS



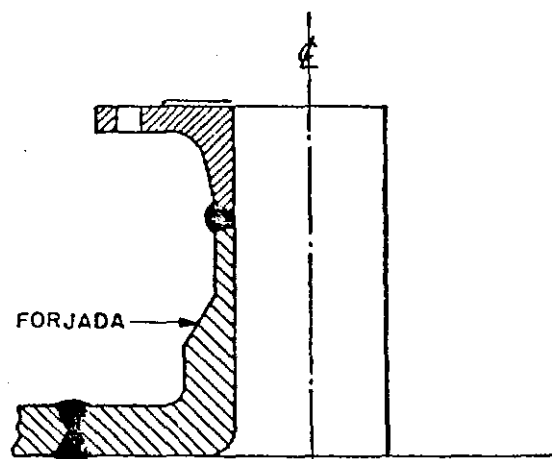
a) COM ANEL DE REFORÇO



b) COM CHAPA DE MAIOR ESPESSURA



PEÇA FORJADA



c) COM PEÇA FORJADA INTEGRAL

REFORÇOS NAS ABERTURAS

TURCO PARA REMOÇÃO DE PEÇAS INTERNAS

CORRIMÃO

COLUNA DO CORRIMÃO

RODAPE

PISO - CH. 1/4

MÃO
FRANCESAPLATAFORMAS LIGANDO
TÔRRES PRÓXIMASDET. DA PLATAFORMAPLATAFORMAS
INTERMEDIÁRIAS

PLATAFORMA NO TÔPO

ESCADAS VERTICAIS COM GRADE DE
PROTEÇÃO (VÃO MAX. = 6m)

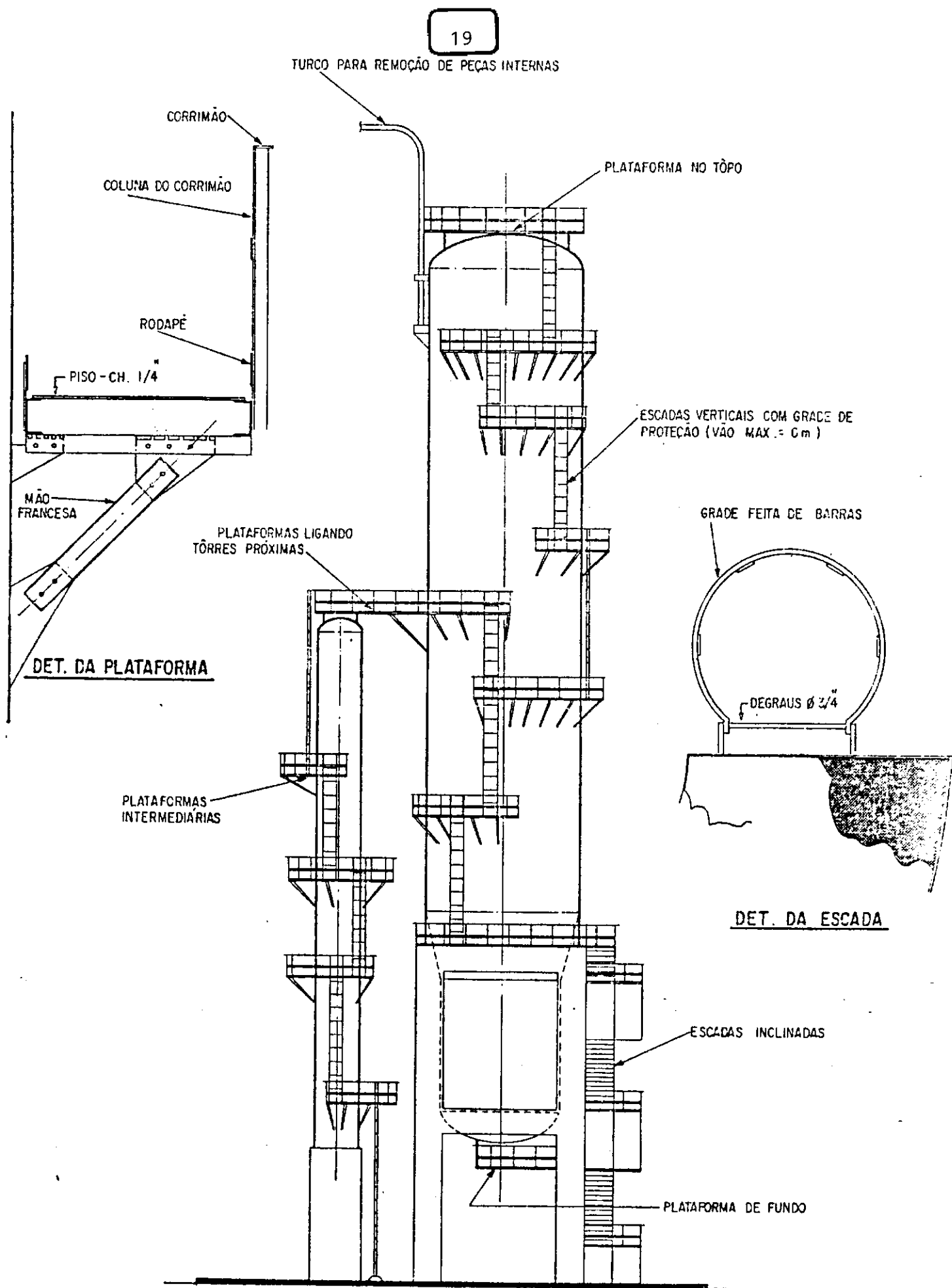
GRADE FEITA DE BARRAS

DEGRAUS Ø 2/4"

DET. DA ESCADA

ESCADAS INCLINADAS

PLATAFORMA DE FUNDO



CAPÍTULO II

CÓDIGO ASME

II.1 - INTRODUÇÃO

ASME - American Society of Mechanical Engineers, é um código que tem como finalidade garantir condições mínimas de segurança, através de padronização de normas para orientar projeto, fabricação e inspeção de vasos de pressão. Tais normas baseiam-se na limitação das tensões admissíveis calculadas para os materiais que compõem a estrutura, numa determinada parcela da tensão de ruptura, do limite elástico ou outra característica mecânica considerada como representativa da resistência do material.

O código é subdividido nas seguintes seções:

SEÇÃO I - Caldeiras

SEÇÃO II - Especificações de Materiais

Parte A - Materiais Ferrosos

Parte B - Materiais Não-Ferrosos

Parte C - Metais para Solda

SEÇÃO III - Vasos Nucleares

Divisão 1

Divisão 2

SEÇÃO IV - Caldeiras para Aquecimento

Seção V - Ensaaios Não-Destrutivos

Seção VI - Recomendações quanto a Segurança e Operação de Caldeiras para aquecimento

SEÇÃO VII - Recomendações quanto a Segurança e Operação de Caldeiras

SEÇÃO VII - Vasos de Pressão

Divisão 1 - Projeto Padrão

Divisão 2 - Projeto Alternativo

SEÇÃO IX - Qualificação de Soldadores, Operadores de Solda e Processos de Soldagem

SEÇÃO X - Vasos de Pressão em Plásticos Reforçados com Fibra de Vidro.

SEÇÃO XI - Recomendações para Inspeção em Serviço de Reatores Nucleares

II.2 - SEÇÃO VIII, DIV. 1 e DIV. 2

II.2.1 - Divisão 1

Sua filosofia de projeto resume-se no dimensionamento da espessura de parede num vaso de pressão, de modo que após o carregamento aplicado, a tensão máxima primária de membrana não exceda aos limites de tensão admissível do material. Não é feita uma análise detalhada para as tensões maiores, apenas para as tensões mais localizadas atribui-se um fator de segurança e um conjunto de regras de projeto, como por exemplo, raio mínimo de um tampo toroesférico. Quanto ao efeito da temperatura, as cargas devido a gradiente térmico são mencionadas dentre as cargas a serem incluídas, não havendo, contudo, indicação como estas devem ser consideradas.

A teoria de resistência adotada é a Teoria da Tensão Máxima, também chamada de teoria de Rankine.

Esta divisão compõe-se da seguinte sub-seções e apêndices:

SUB-SEÇÕES	PARTES
A	PARTE UG - Requisitos Gerais
B	PARTE UW - Vasos fabricados por Solda PARTE UF - Vasos forjados PARTE UB - Vasos fabricados por Brasagem
C	PARTE UCS - Aços Carbono e Aços de Baixa liga PARTE UNF - Metais Não-ferrosos PARTE UHA - Aços de Alta liga PARTE UCI - Ferro Fundido PARTE UCL - Vasos cladeados PARTE UCD - Ferro fundido Dútil PARTE UHT - Aços ferríticos com Propriedades melhoradas por Tratamento Térmico PARTE ULW - Paredes Múltiplas PARTE ULT - Materiais com maiores Tensões Admissíveis em Baixas temperaturas

Apêndices

II.2.2 - Divisão 2

Sua filosofia de projeto baseia-se na análise detalhada das tensões, permitindo com isto a utilização de maiores tensões admissíveis, sem redução da segurança. É feito a análise não só do valor da tensão calculada como também sua localização, distribuição na estrutura, e a origem do carregamento. Faz diferenciação quanto ao tipo de tensão segundo a sua importância, podendo assim estabelecer diferentes valores admissíveis.

A teoria de resistência adotada é a Teoria do Cisalhamento máximo ou Teoria de Tresca.

Esta divisão compõe-se das seguintes partes e apêndices:

PARTE	DESCRIÇÃO
AG	Requisitos Gerais
AM	Materiais
AD	Projeto
AF	Fabricação
AR	Dispositivos de Alívio de Pressão
AI	Inspeção e Radiografias
AT	Testes
AS	Marcação e Relatórios
Apêndices	

II.2.3 - Comentários

O critério de projeto da seção VIII Div. 2 diferem dos critérios da seção VIII e Div. 1 nos seguintes aspectos:

- (a) Seção VIII-2 visa a teoria de tensão de cisalhamento máximo (TRESCA) para a ruptura ao invés da teoria da tensão máxima;

- (b) Seção VIII através dos apêndices da Div. 2 requerem cálculo detalhado, classificação de todas as tensões e aplicação de diferentes limites de tensão para diferentes tipos de tensão, ao passo que a Seção VIII - 1 dá fórmulas para espessura mínimas admissíveis de parede;
- (c) Seção VIII - 2 demanda o cálculo de tensões térmicas e dá valores admissíveis para elas, o que não é feito na Seção VIII - 1 ;
- (d) Seção VIII - 2 considera a possibilidade de ruptura por fadiga e dá regras para preveni-las, o mesmo não ocorre na Seção VIII - 1 .

Os limites de tensão da Seção VIII - 2 pretendem impedir 3 tipos diferentes de ruptura, como segue:

- (a) Ruptura e grande distorção devido a uma simples aplicação de pressão são coibidas pelos limites estipulados no grupo das tensões primárias;
- (b) Distorção progressiva é impedida pelos limites incluídos no grupo das tensões primárias mais as secundárias. Estes limites asseguram a acomodação nas ações elásticas após umas poucas repetições de carregamento;

- (c) A ruptura por fadiga é evitada pelos limites do grupo das tensões localizadas máximas (peak).

CAPÍTULO III

CONCEITOS BÁSICOS

III.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo apresentar alguns conceitos básicos para o desenvolvimento do nosso trabalho.

III.2 - CRITÉRIOS DE ESCOAMENTO

III.2.1 - Introdução

As propriedades mecânicas dos materiais empregados na fabricação de vasos de pressão são obtidas de ensaios de tração uniaxial ou de compressão.

Na determinação das tensões admissíveis, para estados de tensões complexas que nos deparamos na elaboração de projetos, utilizamos as teorias de resistência.

Estas teorias estabelecem leis, que pelo comportamento dos materiais dúcteis nos ensaios de tração, possamos prever a falha do material quando for atingido seu limite de escoamento.

III.2.2 - Estado de Tensão

Para um corpo sujeito a um carregamento, escolhemos em um ponto genérico do mesmo um sistema de eixos coordenados qualquer, e definimos um elemento de volume. O estado de tensão neste ponto será definindo por seis componentes:

σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} , τ_{xy} , τ_{xz} e τ_{yz} - (figura 3.1)

Na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

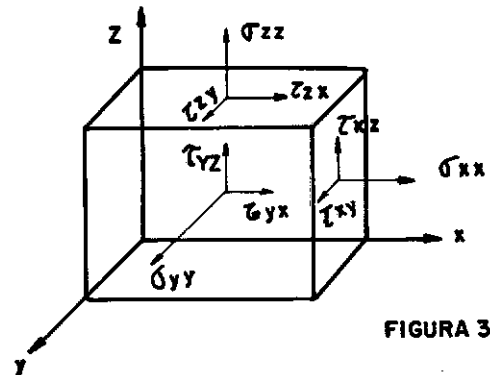
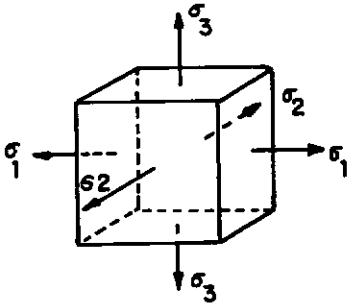


FIGURA 3.1

Escolhendo um sistema de eixos, onde os três planos perpendiculares são os planos principais do ponto, suas direções normais são as direções principais e as tensões para os três planos são as tensões principais σ_1 , σ_2 e σ_3 , figura 3.2.



Os eixos foram escolhidos de forma que os valores algébricos das tensões principais são:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

FIGURA 3.2

III.2.3 - Teorias de Resistência

III.2.3.1 - Teoria da Tensão Máxima ou Teoria de Rankine

Esta teoria estabelece que o escoamento principia no material, quando a tensão máxima se torna igual ao limite de escoamento do material na tração simples, ou a tensão mínima se torna igual ao limite de escoamento do material na compressão simples.

As condições para o escoamento são:

$$\sigma_x = S_y \quad S_y = \text{limite de escoamento à tração}$$

ou

$$\sigma_z = S_{y'} \quad S_{y'} = \text{limite de escoamento à compressão}$$

A representação gráfica é vista pela figura 3.3 através do quadrado 1234, num estado biaxial de tensão ($\sigma_z = 0$).

OA e OB - limites de escoamento na tração simples na direção dos eixos x e y, respectivamente.

OA' e OB' - da mesma maneira, para compressão simples.

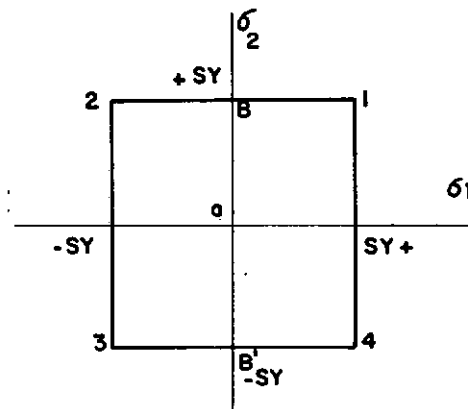


FIG.3.3

III.2.3.2 - Teoria da Energia de Distorção ou Teoria de Von Mises

Esta teoria estabelece que sendo a deformação total de um corpo formado por duas componentes, variação de forma e variação de volume, somente a parte associada a energia de distorção (variação de forma) contribuirá para a falha por escoamento do material. O escoamento ocorrerá quando a energia de distorção de um material submetido a uma combinação qualquer de cargas iguala-se a energia de distorção desse mesmo material no escoamento por tração uniaxial.

A energia de distorção é:

$$U_d = \frac{1 + \nu}{6E} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 \right]$$

No ponto de escoamento na tração simples: $U_d = \frac{1 + \nu}{3E} S_y^2$

Para a condição de escoamento temos:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2 S_y^2$$

A representação gráfica é vista pela figura 3.4, através da elipse, num estado biaxial de tensão ($\sigma_z = 0$).

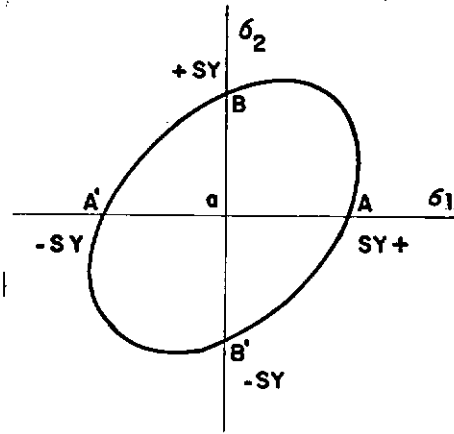


FIG. 3.4.

III.2.3.3 - Teoria do Cisalhamento Máximo (ou Teoria de Tresca)

Esta teoria estabelece que o escoamento principia quando a tensão do cisalhamento máximo se torna igual à tensão máxima de cisalhamento no limite de escoamento, de um ensaio de tração simples. A tensão máxima de cisalhamento é igual à metade da diferença entre as tensões principais máximas e mínimas. Na tração simples, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, e a tensão máxima de cisalhamento no escoamento, sendo $\sigma_1 = S_y$ (tensão de escoamento), será:

$$\tau_{\text{máx.}} = \frac{S_y - \sigma_2}{2} = \frac{S_y}{2} \quad \text{ou} \quad \tau_{\text{máx.}} = \frac{S_y - \sigma_3}{2} = \frac{S_y}{2}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_y}{2}$$

A teoria de Tresca admite que o escoamento vai ocorrer quando qualquer uma das seis condições for atingida:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm S_y$$

$$\sigma_2 - \sigma_3 = \pm S_y$$

$$\sigma_3 - \sigma_1 = \pm S_y$$

A limitação desta teoria é a exigência de que as tensões de escoamento na tração e na compressão sejam iguais e a necessidade de se conhecer de antemão as tensões principais extremas.

A representação gráfica é vista pela figura 3.5, através do hexágono irregular $ABA'B'A$, num estado biaxial de tensão. ($\sigma_z = 0$)

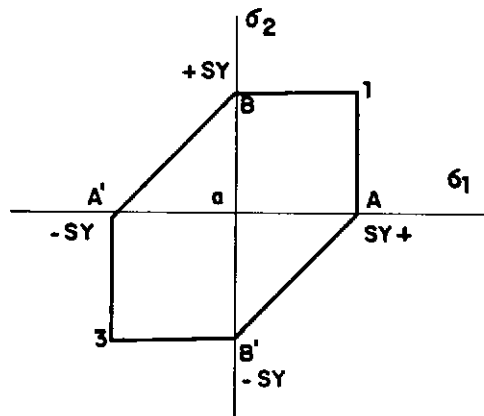


FIG. 3.5

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DE TENSÕES EM UM PROJETO

IV.1 - INTRODUÇÃO

Os métodos de cálculo da Divisão 1 são em grande parte conservativos em serviços convencionais, contudo numa análise detalhada para vasos de pressão teremos um conhecimento real dos esforços na estrutura e como consequência, uma otimização do aço utilizado na construção do vaso. A Divisão 2 por meio do conhecimento do estado de tensão da estrutura, garante uma maior segurança aos projetos sujeitos a um maior ciclo de operação, aos que requerem maior segurança ou quando inspeções periódicas frequentes não são possíveis.

Tendo em vista que diferentes tipos de tensão têm diferentes graus de significação, os mesmos devem assumir valores admissíveis diferentes. Como por exemplo, os valores admissíveis para tensões térmicas são maiores do que para tensões devido a pressão interna ou peso próprio.

IV.2 - INTENSIDADE DE TENSÕES - S

As componentes de tensões nas direções tangencial, longitudinal e radial (eixos ortogonais) são: σ_t , σ_l , σ_r , τ_{tl} , τ_{lr} , τ_{rt} .

A teoria da resistência adotada é a teoria do cisalhamento máximo, apesar da teoria da Energia de Distorção ser mais precisa. Isto porque a primeira é a conservativa, mais fácil de ser aplicada, e oferece vantagens em algumas aplicações na análise de fadiga.

Supondo: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ temos:

$$\frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{1}{2} S_y \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_y}{2} = \text{máxima tensão cisalhante} \\ \text{do estado uniaxial.} \\ \\ S_y = \text{intensidade de tensão.} \end{array} \right.$$

Transladando as seis componentes de tensão das direções t , l e r para as direções principais, obteremos as três tensões principais σ_1 , σ_2 e σ_3 . Podemos também, definir as direções t , l e r de modo que as tensões cisalhantes sejam nulas e as tensões σ_t , σ_l e σ_r serem idênticas as tensões σ_1 , σ_2 e σ_3 . Em seguida, calculamos as diferenças algébricas:

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

A intensidade de tensões S é definida pelo maior valor absoluto dentre as diferenças S_{12} , S_{23} e S_{31} .

O valor da intensidade de tensões S não deve exceder os valores admissíveis mostrados na tabela 4.2. Por exemplo, no caso de tensão primária de membrana local mais tensão primária de flexão deverão estar abaixo de 1,5 KSm, logo de acordo com a tabela será:

$$P_l + P_b \leq 1,5 \text{ K Sm}$$

Para melhor identificar a classificação de uma determinada tensão em função do tipo do carregamento e sua localização no equipamento ver tabela 4.2.

O valor do fator de forma K é dado na tabela 4.3.

IV.3 - CATEGORIA DE TENSOES

Para avaliar diferentes tipos de tensões que requerem diferentes limites, fez-se necessário classificar diferentes tipos de categorias de tensão relacionadas a estes limites de intensidade de tensão (TABELA 4.1).

Tensões Primárias

- . Tensão primária geral de membrana (P_m)
- . Tensão primária local de membrana (P_l)
- . Tensão primária de flexão (P_b)

Tensão Secundárias (Q)

Tensões Localizadas Máximas (F)

IV.3.1 - Tensões Primárias (P_m , P_l e P_b)

Tensões que equilibram estaticamente os esforços mecânicos exercidos sobre o material. A característica básica destas tensões é que elas não são auto-limitantes. Se uma tensão primária excede o limite de escoamento do material, poderá vir a ocorrer a ruptura ou elevadas deformações na estrutura.

As tensões primárias podem ser de membrana ou de flexão. A tensão de membrana é a componente da tensão primária, constante através de toda a espessura da estrutura. As tensões de flexão são resultantes da flexão das paredes do vaso e são variáveis através da espessura e, proporcionais à distância do ponto em que estão sendo analisados ao centróide da seção considerada.

As tensões primárias de membrana se subdividem em tensões locais e tensões gerais de membrana.

Como exemplo de tensão local a tensão de membrana na estrutura do vaso causada por força externa e momento, em um apoio permanente.

O valor calculado da tensão primária de flexão pode atingir maiores valores, que a tensão primária de membrana. Apesar da tensão primária de flexão ter características de tensão secundária, é auto-limitante, e quando excede o limite da resistência, a carga externa é resistida pelas regiões vizinhas da estrutura. A sua inclusão na categoria de tensão primária deve-se ao fato que a mudança pode envolver distorções não resistíveis. Por isso a necessidade de impor a esta tensão limites menores que aqueles assumidas para as tensões secundárias.

As tensões térmicas nunca serão classificadas como tensões primárias.

IV.3.2 - Tensões Secundárias (Q)

Tensões oriundas, de restrições geométricas e junções na estrutura. Sua característica básica, é que são auto-limitantes. Escoamento localizado e pequenas distorções podem satisfazer as condições de descontinuidade ou expansões térmicas que provocaram o aparecimento destas tensões. Como exemplo temos as tensões de flexão devido a associação de cascas, ou as tensões térmicas que causaram distorções na estrutura. Quando for insignificante a

expansão diferencial, passará para a categoria das tensões máximas localizadas. Contudo, o Código faz uma exceção em relação a um gradiente de temperatura radial em uma casca cilíndrica, que pode ser considerado tensão térmica local, embora a projeção linear deste gradiente possa causar deformação, porém dentro do limite da segurança.

IV.3.3 - Tensões Máximas Localizadas (F)

São as máximas tensões que ocorrem em certas regiões da estrutura. Sua característica é que as tensões não causam distorções significativas, e é na maioria das vezes a possível fonte de falha da estrutura por fadiga. Um exemplo são as tensões que surgem na região de uma conexão, onde ocorre concentração de tensões.

IV.3.4 - Modos de Falha

A possibilidade de falha e as categorias de tensão se relacionam através dos limites de tensões, como segue:

a) Os limites das tensões primárias prevêm a ocorrência de deformações plásticas e estabelece um fator de segurança para impedir a ruptura por efeito de pressão interna.

b) Os limites das tensões primárias mais secundárias prevêm excessiva deformação plástica que leva ao colapso incremental e valida a aplicação da análise elástica quando requer a análise de fadiga.

c) Os limites de tensões máximas localizadas prevêm a ruptura por fadiga devido a carregamento cíclico.

d) Os limites especiais de tensões são previstos para evitar a falha por instabilidade elástica e inelástica - limites nas tensões de compressão e redução nas tensões admissíveis em temperaturas elevadas.

e) A fratura frágil é impedida pela seleção adequada dos materiais da estrutura.

f) Proteção contra condições ambientais como efeito de corrosão e radiação, são de responsabilidade do projetista.

Deformação elástica e instabilidade elástica (flambagem) não podem ser controladas apenas pela imposição de limites maiores. Devemos considerar a geometria, rigidez e as propriedades do elemento.

A ruptura por deformação plástica pode ser controlada pela imposição de limites na tensão calculada. Porém, ao contrário dos modos de falha nos casos de escoamento por fadiga e tensão pela

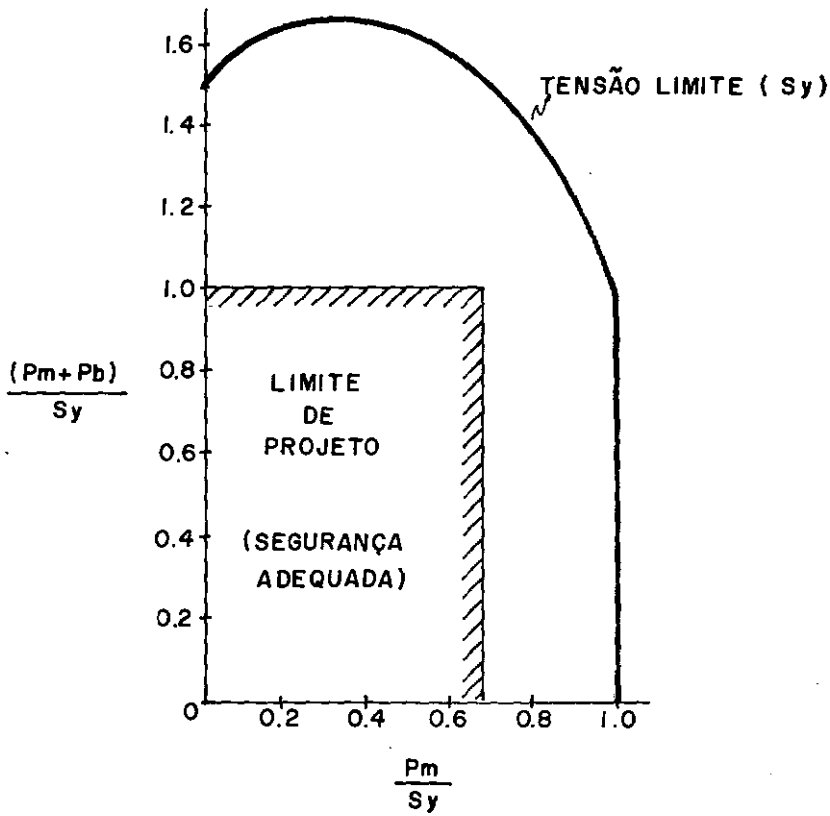
corrosão, tensões de pico não são previstas. Devido a consequente ruptura, devemos analisar com critério o carregamento e a distribuição da resultante de tensão. Devemos considerar em adição ao conjunto de limites das tensões admissíveis, a teoria de ruptura para avaliar como várias tensões em uma componente reagem e contribuem para a resistência da região analisada.

IV.3.5 - Comentários

A soma das tensões de categorias diferentes deve ser feita por níveis de componente, antes de chegar ao retângulo 'intensidade de tensão' (Figura 4.2). Do mesmo modo, o cálculo da intensidade de tensão de membrana requer a média das tensões na seção e esta média deve ser também por níveis.

Uma análise detalhada de tensões frequentemente dá a combinação de tensões primárias e secundárias diretamente. Não é necessário separá-las desde que o limite de tensão seja adequado a soma da intensidade de tensão total. Por exemplo, se as tensões em F são produzidas por uma concentração de tensão, a quantidade F é tensão adicional produzida pela junção, além da tensão nominal, mas não precisamos calculá-la separadamente.

LIMITE DE TENSÃO PARA COMBINAÇÃO DE TRAÇÃO E FLEXÃO



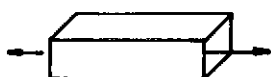
(Seção retangular)

P_m = tensão primária geral de membrana

P_b = tensão de flexão

CASOS:

1)



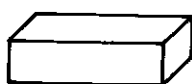
$$\begin{cases} \sigma_1 = S_y \\ \sigma_2 = 0 \\ \sigma_3 = 0 \end{cases}$$

$$P_m = S_y$$



colapso

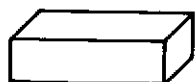
2)



$$P_b < 1,5 S_y$$

(Forma rótula plástica)

3)

 σ_1

+

 σ_2

=

 $\sigma_1 + \sigma_2$ Depende $\left(\frac{P_m + P_b}{S_y} \right)$

$$\begin{cases} P_m = 0 & \Rightarrow & P_b = 1,5 S_y \\ P_m = S_y & \Rightarrow & P_b = 0 \end{cases}$$

COMPONENTES DO VASO	LOCALIZAÇÃO	ORIGEM DA TENSÃO	TIPOS DE TENSÃO	CLASSIF.
Casco cilíndrico ou esférico.	Chapa de revestimento na região de descontinuidade.	Pressão Interna	Geral de membrana Gradiente através da espessura da placa.	Pm Qm
		Gradiente axial térmico.	Membrana Flexão	Q Q
	União com tampo ou flange.	Pressão Interna	Membrana Flexão	Pl Q
Casco ou tampo qualquer.	Seção qualquer ao longo do vaso.	Carga externa, ou momento, ou pressão interna.	Geral de Membrana produzida sobre toda a seção. Componentes de tensão perpendicular a seção transversal.	Pm
	Próximo à bocal ou outra abertura.	Carga externa, ou momento, ou pressão interna.	Local de Membrana. Flexão Máxima Localizada (curva ou canto)	Pl Q F
	Localização qualquer.	Diferencial de temperatura entre casco e tampo.	Membrana Flexão	Q Q
Tampo curvo ou cônico	Topo	Pressão Interna	Membrana Flexão	Pl Q
	Extremidade curva ou ligação com casco.	Pressão Interna	Membrana Flexão	Pl Q
Tampo Plano	Região Central	Pressão Interna	Membrana Flexão	Pl Q
	Ligação com casco	Pressão Interna	Membrana Flexão	Pl Q
Casco ou tampo com orifício.	Ligamento típico. (padrão uniforme)	Pressão	Membrana (sobre a seção transversal) Flexão (sobre a largura do ligamento nas gradientes de placa. Máxima Localizada.	Pm Pb F
	Ligamento isolado ou atípico.	Pressão	Membrana Flexão Máxima Localizada	Q F F
Orifício	Sobre a seção perpendicular ao eixo da abertura.	Pressão interna ou pressão externa ou momento.	Geral de Membrana (sobre toda a seção). Componentes de tensão perpendicular a seção	Pm
	Abertura de parede.	Pressão Interna	Geral de Membrana Local de Membrana Flexão Máxima Localizada	Pm Pl Q F
Revestimento de aço inoxidável.	Qualquer	Expansão diferencial térmica	Membrana Flexão	F F
Qualquer	Qualquer	Distribuição radial da temperatura.	Tensão equivalente linear. Porção não linear da distribuição de tensão	Q F
Qualquer	Qualquer	Qualquer	Concentração de tensão (efeito de abertura)	F

TABELA 4.2 - CATEGORIA DAS TENSÕES E LIMITES DA INTENSIDADE DE TENSÃO

CATEGORIAS DAS TENSÕES	PRIMÁRIA			SECUNDÁRIA	LOCALIZADA
	GERAL DE MEMBRANA (Pm)	LOCAL DE MEMBRANA (Pl)	FLEXÃO (Pb)	Membrana mais Flexão (Q)	MÁXIMA (F)
	Tensão primária média ao longo de uma seção sólida. Produzidas apenas por cargas mecânicas. Exclui: descon- tinuidades e concentrações.	Tensão média ao longo de seção sólida qualquer. Produzidas ape- nas por cargas mecânicas. Inclui: descon- tinuidades. Exclui: concen- trações.	Componente da tensão primá- ria proporcio- nal a distân- cia do centrói- da seção do so- lido. Produzi- das apenas por cargas mecâni- cas. Exclui: descon- tinuidades e concentrações.	Tensões auto equi- librantes necessá- rias para satisfa- zer a continua- de da estrutura. Produzidas por cargas mecânicas ou expansão dife- rencial térmica. Exclui: concentra- ções locais de tensão.	1) Acréscimo so- mado à tensões primárias ou se- cundárias devido a concentração. (abertura) 2) Tensões tér- micas que possam causar fadiga, mas não distorção da forma do vaso.
Combinação das componen- tes de tensão e limites ad- missíveis das intensidades de tensão.	<p>_____ para cargas de projeto ----- para cargas de operação</p>				

NOTA: (1) - Sa é obtido de curvas de Fadiga (ASME-DIV 2, APÊNDICE 5)

TABELA 4.3 - FATOR DE FORMA K

CONDIÇÃO	COMBINAÇÃO DE CARGA	K	BASE DO LIMITE DAS TENSÕES CALCULADAS
PROJETO	A) Pressão de projeto, peso próprio e conteúdo do equipamento, carga mecânica imposta, e carga externa de fixação.	1.0	Baseada na espessura sob corrosão, na temperatura de projeto do metal.
	B) Condição A e efeito de vento.	1.2	
	C) Condição A e abalos sísmicos.	1.2	
	D) Condição A e efeito de onda.	1.2	
TESTE	Pressão de teste, peso próprio e conteúdo do equipamento, carga mecânica imposta, e carga externa de fixação.	1.25: Teste hidrostático. 1.15: Teste pneumático	Baseado nos valores reais de projeto, na temperatura de teste.

TABELA 4.4 - CRITÉRIO PARA FIXAÇÃO DE TENSÕES ADMISSÍVEIS

CÓDIGO	TEMPERATURA	
	Abaixo do CREEP	Acima do CREEP
ASME VIII-1	<ul style="list-style-type: none"> - $\frac{\sigma_r}{4}$ (temp. ambiente) - σ_r (temp. projeto) - $\frac{2}{3} S_y$ (temp. ambiente) - $\frac{2}{3} S_y$ (temp. do projeto) 	<ul style="list-style-type: none"> - 100% da tensão média que provoca uma velocidade de deformação de 0,01% em 1000h. - 67% da tensão média que provoca ruptura após 100.000h. - 80% da tensão mínima que provoca ruptura após 100.000h.
ASME VIII-2	<ul style="list-style-type: none"> - $\frac{\sigma_r}{3}$ (temp. ambiente) - $\frac{\sigma_r}{3}$ (temp. projeto) - $\frac{2}{3} S_y$ (temp. ambiente) - $\frac{2}{3} S_y$ (temp. projeto) 	

TABELA 4.5

CATEGORIA DA INTENSIDADE DE TENSÃO	VALOR ADMISSÍVEL	FATOR BASEADO NO LIMITE DE ESCOAMENTO	FATOR BASEADO NA TENSÃO DE RUPTURA
(Pm) primária geral de membrana	K Sm	2/3 Sy	1/3 Su
(Pl) primária local de membrana	1 1/2 K Sm	Sy	1/2 Su
(Pm + Pb) primária de membrana e flexão	1 1/2 K Sm	Sy	1/2 Su
(Pm + Pb + Q) primária mais secundária	3 Sm	2 Sy	Su

Sm = Valor da Intensidade de Tensão de Projeto

Sy = Tensão de Escoamento

Su = Tensão última de tração

K = Fator de Forma (TABELA 4.3)

CAPÍTULO V

PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

V.1 - INTRODUÇÃO

A análise de vasos de pressão sujeitos à pressão interna pelo método dos elementos finitos, foi feita através de dois programas computacionais da Petrobrás, sistema ADEP e AEPES.

V.2 - ADEP

O sistema ADEP-Análise e Dimensionamento das Estruturas de Plataforma, foi desenvolvido pela Petrobrás com a colaboração da COPPE-UFRJ, para a solução de problemas de engenharia Offshore, com ênfase no cálculo e projeto estrutural. Este sistema teve como ponto de partida a linguagem ICES STRUDL II, cuja primeira versão teve origem em 1968 no Massachusetts Institute of Technology. Ele é dividido em vários subsistemas, mas foram utilizados três, e relacionados abaixo:

EDES - Especificação de dados estruturais básicos e rotinas de geração automática.

ANPE - Análise quase-estática, interação solo-estrutura no controle de projeto e análise de elementos finitos.

GRAFIC - Comandos orientados para aplicação de técnicas de computação gráfica e CAD-CAM.

V.2.1 . Elemento TGCP e SIEL

Dentre os vários elementos que compõem o sistema ADEP, optou-se pelo elemento TGCP.

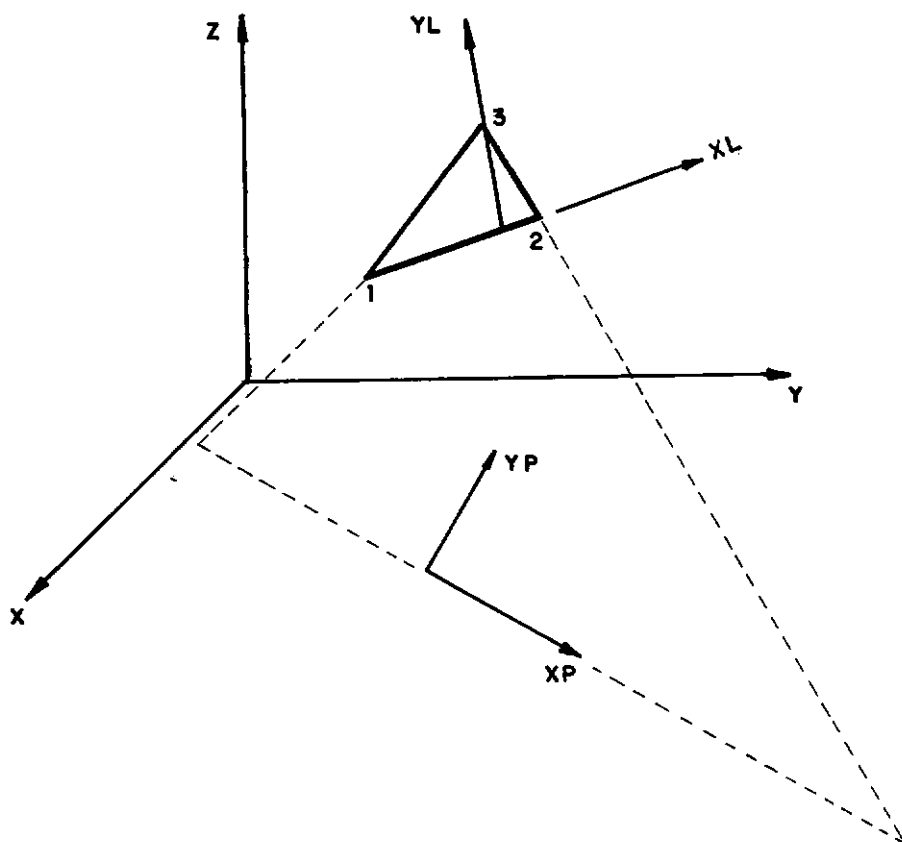


FIGURA - EIXOS INTERMEDIÁRIOS DO ELEMENTO TGCP

TGCP é um elemento finito triangular de três nós para análise de cascas e placas sua formulação é feita para uma análise estática linear e considera efeitos de membrana e flexão. No plano do elemento têm-se cinco diferentes graus de liberdade, três translações e duas rotações: U_1 , U_2 , U_3 , U_4 e U_5 .

SIEL é um elemento plano para análise de cascas delgadas e moderadamente espessas. É quadrilátero de oito nós, derivado do elemento isoparamétrico quadrático para problemas tridimensionais. Nenhuma limitação é introduzida com relação a geometria, podendo ser usado para cascas de qualquer tipo de curvatura. A espessura, em particular pode variar de acordo com a expansão quadrática definido em termos da espessura nodal.

V.3.2 - AEPES

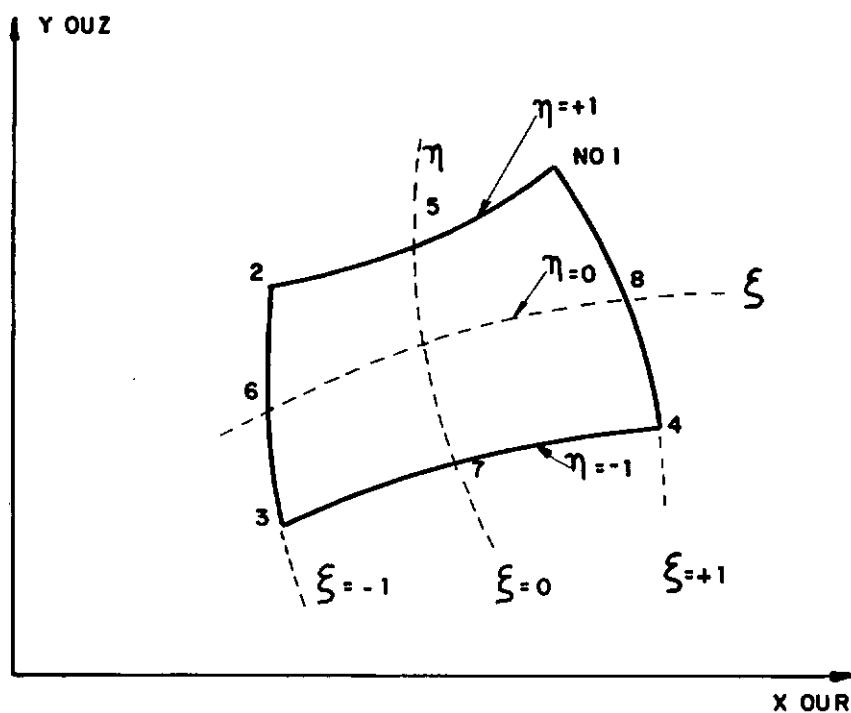
O sistema AEPES - **Análise Elasto Plástica de Estruturas**, foi desenvolvido pelo engenheiro Álvaro Maia da Costa em seus trabalhos de tese de Mestrado e Doutorado. É um programa para cálculo da resposta estática, elástica e elasto-plástica. A categoria de sistemas estruturais utilizada foi a de sólidos axissimétricos (efeito de membrana).

A discretização pode ser feita através de elementos finitos isoparamétricos, com número variado de pontos nodais, de quatro à oito nós, e em casos particulares, elementos de treliça,

elementos de interface e infinitos. No nosso estudo utilizamos o elemento isoparamétrico de oito nós e o degenerado de seis nós.

A regra de integração a ser utilizada depende do número de pontos nodais, da distorção do elemento e do problema em estudo.

Podemos obter como resultados do programa os deslocamentos e tensões nos pontos nodais.



ELEMENTO ISOPARAMÉTRICO BIDIMENSIONAL COM NÚMERO VARIADO DE PONTOS NODAIS (4 - 8)

CAPÍTULO VI

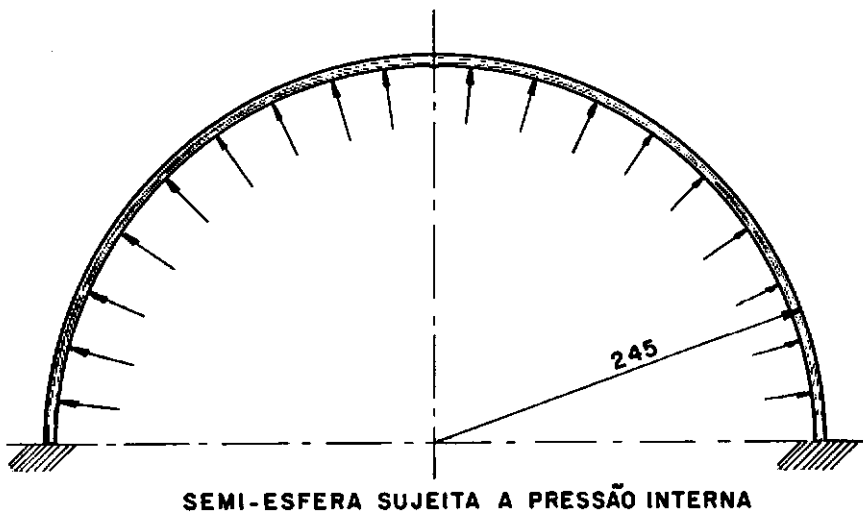
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DO CÓDIGO ASME

VI.1 - INTRODUÇÃO

Neste Capítulo apresentam-se alguns exemplos de aplicação do Código ASME. Pretende-se ao mesmo tempo, demonstrar a utilização das tabelas da Divisão 2 após análise detalhada das tensões em um vaso de pressão pelo método dos elementos finitos, e confrontar os resultados obtidos com o critério de cálculo convencional, Divisão 1.

VI.2 - ANÁLISE PELO PROGRAMA AEPES

VI.2.1 - Casca Esférica com pressão interna



SEMI-ESFERA SUJEITA A PRESSÃO INTERNA

FIGURA 6.1

Condições de projeto:

Material - SA - 516 Gr. 60

Tensão admissível - $S_m = 1050 \text{ Kgf/cm}^2$

Temperatura de trabalho (constante) $T = 100^\circ\text{C}$

Raio interno $R = 254,00 \text{ cm}$

Pressão interna $P = 7,03 \text{ Kgf/cm}^2$

Módulo de elasticidade $E = 2,04 \cdot 10^6 \text{ Kgf/cm}^2$

Coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$

Nomeclatura:

- t - espessura procurada
- P - pressão interna
- R - raio interno
- S - tensão admissível na temperatura de projeto
- E - fator de eficiência de junta (função do tipo de junta e do exame radiográfico).
- D' - diâmetro interno do ponto considerado medido perpendicular ao eixo longitudinal.
- K - fator de intensidade de tensão
- α - semi-ângulo da parte cônica de um tampo cônico, em relação à linha de centro.
- D - diâmetro de encaixe (tampo elipsoidal)

a) Cálculo da espessura da casca hemisférica, segundo a fórmula simplificada do Código ASME, Seção VIII-1:

$$t = \frac{PR}{2 SE - 0,2P}$$

limita-se:

$$t \leq \frac{R}{2} \quad e$$

$$P \leq 0,0385 S$$

Considerando-se $E = 1$ (Apêndice 1), temos:

$$t = \frac{7,02 \times 253,05}{2 \times 1050 - 0,2 \times 7,02} = 0,85 \text{ cm}$$

$$t = 3/8" = 9,5 \text{ mm}$$

b) Discretização - Utilizou-se uma malha com 6 elementos isoparamétricos axissimétricos de oito nós, Figura 6.2.

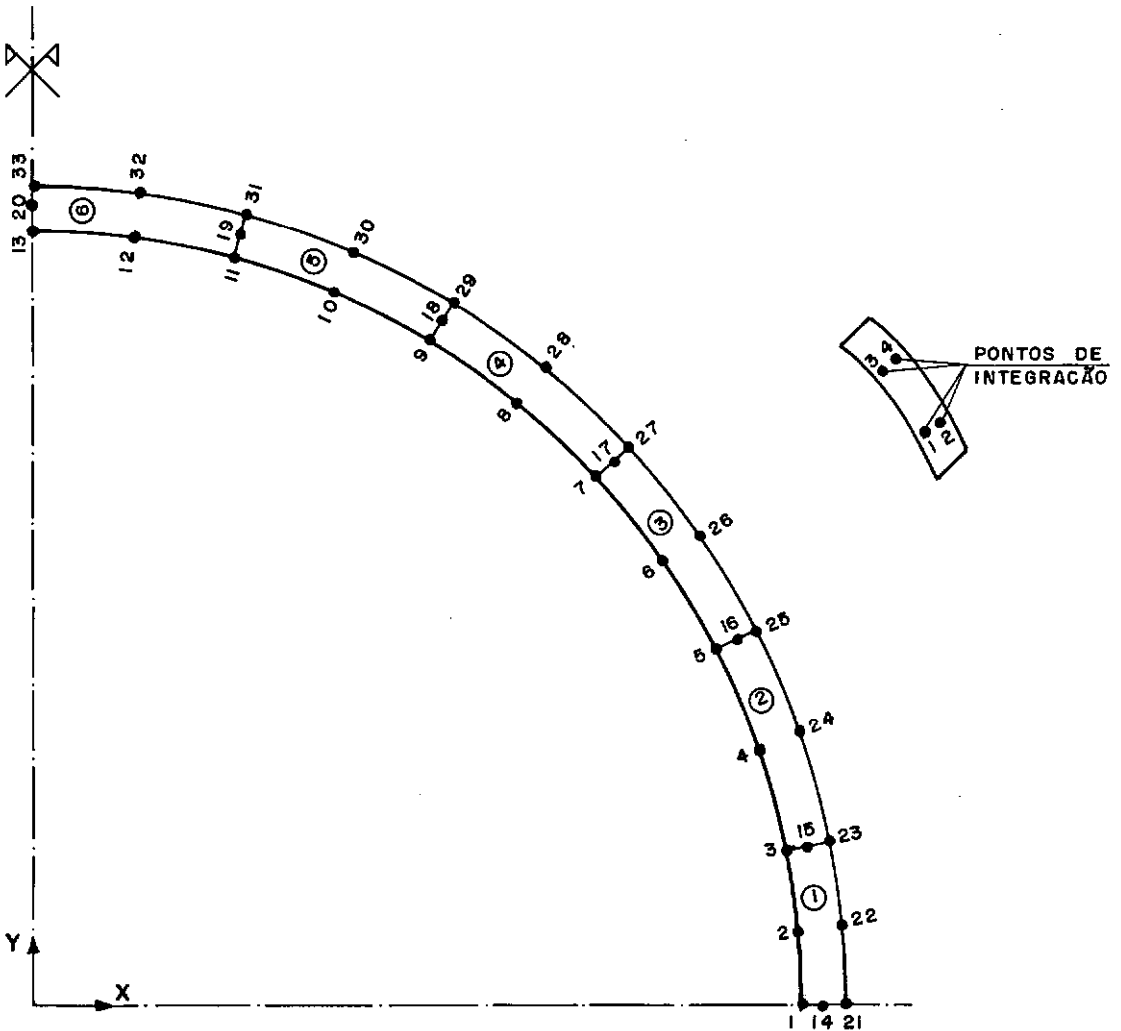


FIGURA 6.2

Os resultados do cálculo dos deslocamentos estão representados nos gráficos 1 ao 8, e os resultados do cálculo das tensões principais são fornecidos no Apêndice 2.

A seção VIII-2 como já mencionado anteriormente, adota a teoria do cisalhamento máximo como critério para avaliação das tensões admissíveis. O programa em questão apresenta os resultados das tensões principais, e é feita a diferença algébrica entre estas tensões. O maior valor, em módulo, é tomado como a tensão máxima a ser comparada com a tensão máxima admissível do Código, apresentada nas tabelas 6.1 e 6.2. A categoria das tensões nestas tabelas dependem do tipo do carregamento e sua localização no equipamento, conforme visto.

Neste exemplo atuam apenas tensões primárias: no apoio, tensão local de membrana e flexão, e distante do apoio, geral da membrana.

c) Verificação dos Resultados - Analisaremos os elementos: 1, 2, 4 e 6.

Tensões máximas por elemento - (APÊNDICE 2)
Utilizar tabela 4.2 (CAPÍTULO IV)

Elemento 1 | $\sigma_1 - \sigma_2$ | = 1380,40

$$P_1 + P_b = 1380,40 \quad \angle \quad 1,5 S_m = 1575$$

Elemento 2 $|\sigma_2 - \sigma_3| = 1040,40$

$$P_1 + P_b = 1040,40 \quad \angle \quad 1,5 \text{ Sm} = 1575$$

Elemento 5 $|\sigma_1 - \sigma_2| = 640$

$$P_m = 640 \quad \angle \quad S_m = 1050$$

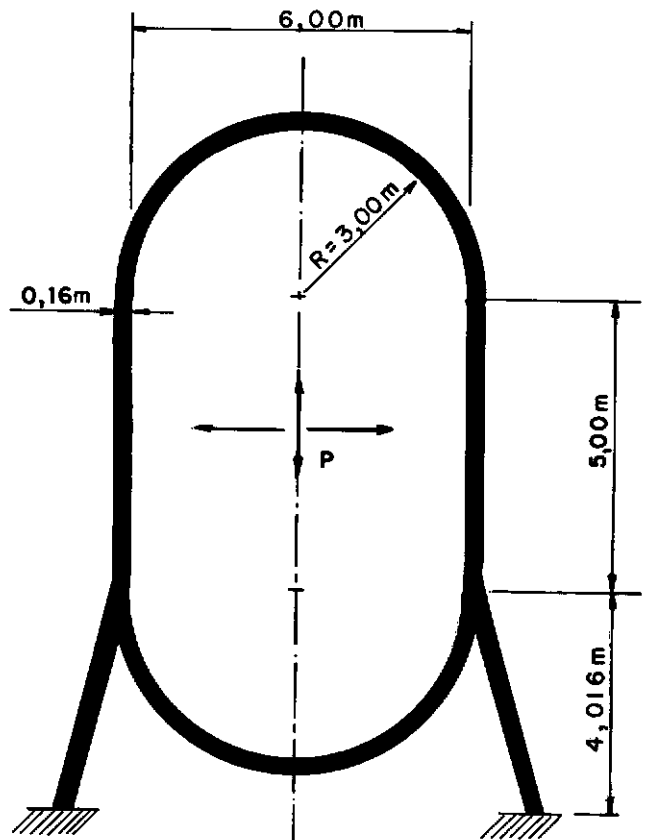
Elemento 6 $|\sigma_1 - \sigma_2| = 434,60$

$$P_m = 434,60 \quad \angle \quad S_m = 1050$$

CÁLCULO ANALÍTICO - Tensão de Membrana

Cúpula : $\sigma_\theta = \sigma_\phi = 939,80 \text{ Kgf/cm}^2$

VI.2.2 - Vaso de pressão, com pressão interna (Figura 6.3)



VASO DE PRESSÃO SUJEITO À PRESSÃO INTERNA

FIGURA 6.3

Dados de projeto:

- . Material SA-516 Gr. 60
- . Tensão admissível - $S_m = 1050 \text{ Kg/cm}^2$
- . Temperatura de trabalho (constante) $T = 100^\circ\text{C}$
- . Pressão interna $P = 5 \text{ Kg/cm}^2$

a) Cálculo da espessura do casco cilíndrico, utilizando a fórmula simplificada do Código ASME, Seção VIII-1:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

limita-se:

$$t \leq \frac{R}{2} \quad e$$

$$P \leq 0,0385 S$$

O diâmetro do cilindro $\phi = 6000 \text{ mm}$, logo

$$t = \frac{5.3000}{1050 - 0,6.5} = 14,32 \text{ mm}$$

adotando um valor comercial,

$$t = 16 \text{ mm}$$

b) Cálculo da espessura do tampo hemisférico:

$$t = \frac{5.4243}{2.1050 - 0,2.5} = 10,11 \text{ mm}$$

utilizaremos a mesma espessura do cilindro.

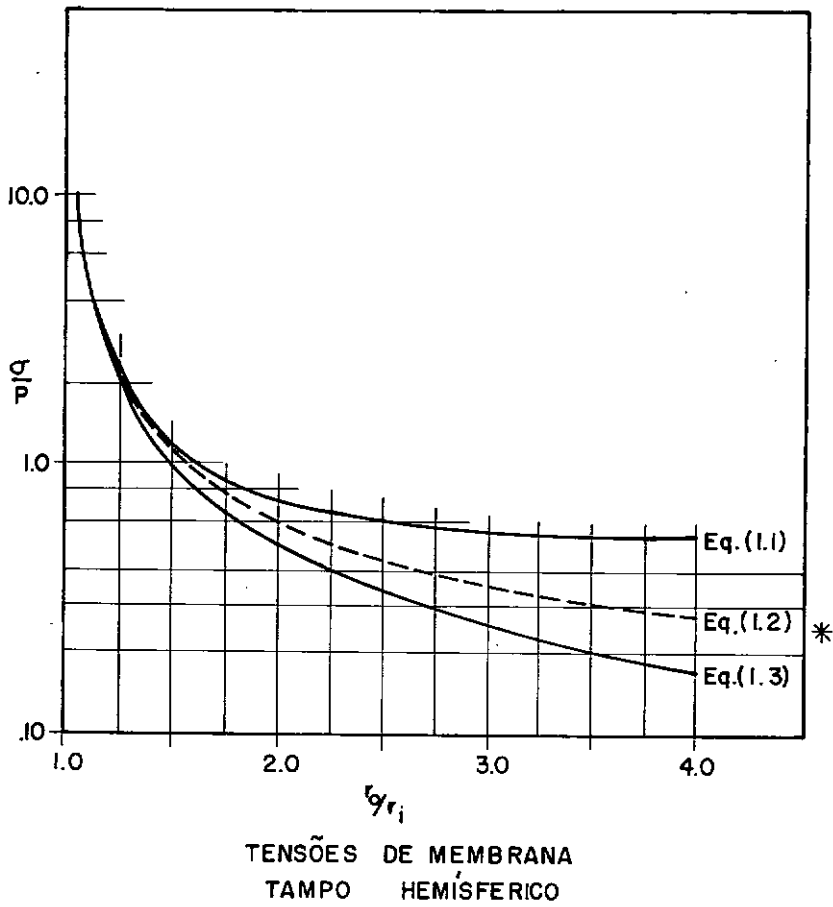
NOTA: Cálculo da espessura para outros tipos usuais de tampos:

$$\begin{aligned} \text{. elipsoidal} \quad t &= \frac{PDK}{2 \text{ SE} - 0,2P} & \left\{ \begin{aligned} K &= \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right] \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

$$\text{. cônico} \quad t = \frac{PD'}{2 \cos \alpha (\text{SE} - 0,6P)}$$

Cabe ressaltar aqui, que todas as fórmulas simplificadas para o cálculo da espessura dos componentes do vaso, referem-se ao carregamento de pressão interna.

A comparação destas fórmulas simplificadas do código ASME as equações de cascas espesas de Lamé, comprovam a grande aplicabilidade das mesmas conforme os gráficos abaixo.



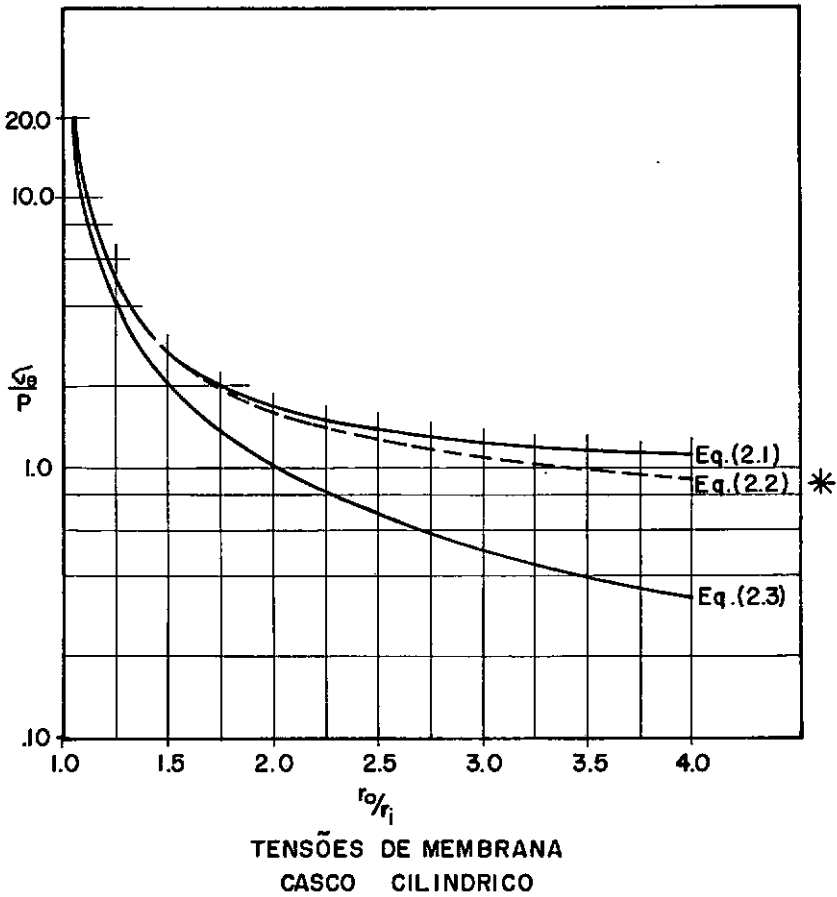
$$\sigma_r = \frac{r_i^3}{r_o^3 - r_i^3} P_i \left(1 - \frac{r_o^3}{r^3}\right) - \frac{r_o^3}{r_o^3 - r_i^3} P_o \left(1 - \frac{r_i^3}{r^3}\right) \quad (1.1)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_\theta = \frac{r_i^3}{r_o^3 - r_i^3} P_i \left(1 + \frac{r_o^3}{2r^3}\right) - \frac{r_o^3}{r_o^3 - r_i^3} P_o \left(1 + \frac{r_i^3}{2r^3}\right)$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6 P} \quad (1.2)$$

$$\bar{G} = \frac{Pr}{2t} \quad (1.3)$$

(*) mostra uma razoável aproximação da equação simplificada do código ASME-VIII-1.



$$\bar{\sigma}_\theta = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2 + (P_i - P_o) (r_i^2 r_o^2 / r^2)}{r_o^2 - r_i^2}$$

(2.1)

$$\bar{\sigma}_r = \frac{-P_o r_o^2 - P_i r_i^2 + (P_i - P_o) (r_i^2 r_o^2 / r^2)}{r_o^2 - r_i^2}$$

$$t = \frac{PR}{SE-0,6 P} \quad (2.2)$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{Pr}{t} \quad (2.3)$$

(*) boa aproximação

c) Modelagem - A malha utilizada consiste de 61 elementos isoparamétricos axissimétricos, dentre eles 60 são de oito nós e 1 é degenerado de 6 nós. Figura 6.4

d) Resultados das tensões - este exemplo apresenta a existência das tensões secundárias. Estas tensões são auto equilibrantes e necessárias para se ter a continuidade na estrutura. São decorrentes da descontinuidade geométrica do equipamento, na transição do tampo-casco e casco-fundo-saia. No apoio, temos tensões primárias, local de membrana e flexão. Distante do apoio e das descontinuidades temos tensões gerais de membrana. Nas regiões de descontinuidade geométrica.

e) Verificação dos resultados - analisaremos os elementos 1, 2, 13, 14, 15, 16, 17, 60, 61, 14, 15, 32, 33, 47, 52.

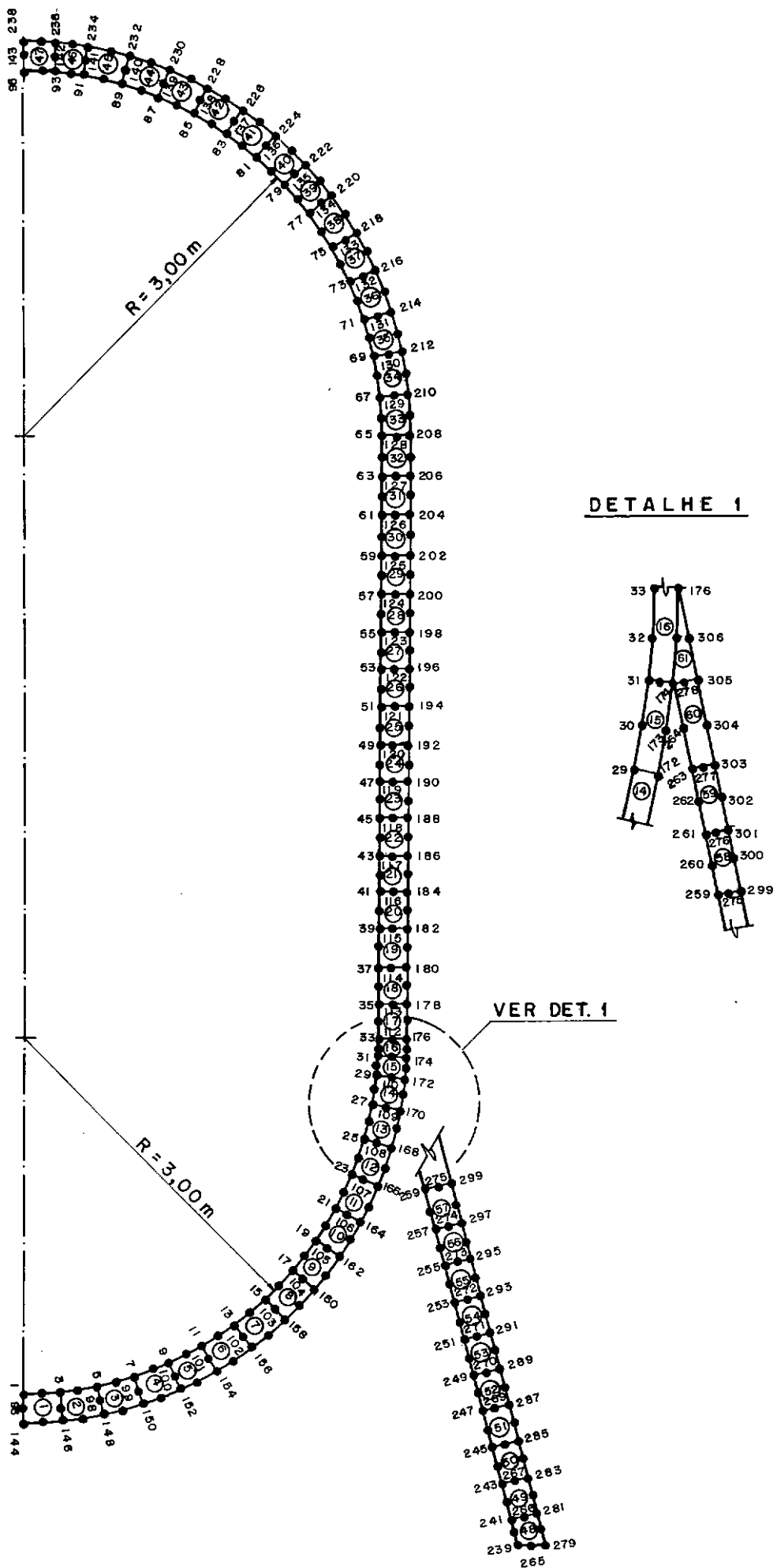


FIGURA 6.4

Tensões máximas por elemento - APÊNDICE 2
 Utilizar tabela 4.2 (CAPÍTULO IV)

Elemento 1 $2 \sigma_{\text{máx}} = 506,00$

$$P_m = 506,00 < S_m = 1050$$

Elemento 2 $2 \sigma_{\text{máx}} = 499,20$

$$P_m = 499,20 < S_m = 1050$$

Elemento 3 $2 \sigma_{\text{máx}} = 492,40$

$$P_1 + Q = 492,40 < 3 S_m = 3150$$

Elemento 14 $2 \sigma_{\text{máx}} = 486,60$

$$P_1 + Q = 486,60 < 3 S_m = 3150$$

Elemento 15 $2 \sigma_{\text{máx}} = 1095,00$

$$P_1 + Q = 1095,00 < 3 S_m = 3150$$

Elemento 16 $2 \varnothing_{\text{máx}} = 1479,60$

$$P1 + Q = 1479,60 < 3 \text{ Sm} = 3150$$

Elemento 17 $2 \varnothing_{\text{máx}} = 1868,80$

$$P1 + Q = 1868,80 < 3 \text{ Sm} = 3150$$

Elemento 60 $2 \varnothing_{\text{máx}} = 1149,60$

$$P1 + Q = 1149,60 < 3 \text{ Sm} = 3150$$

Elemento 61 $2 \varnothing_{\text{máx}} = 2346,00$

$$P1 + Q = 2346,00 < 3 \text{ Sm} = 3150$$

Elemento 24 $2 \varnothing_{\text{máx}} = 472,20$

$$Pm = 472,20 < \text{Sm} = 1050$$

Elemento 25 $2 \varnothing_{\text{máx}} = 472,20$

$$Pm = 472,20 < \text{Sm} = 1050$$

Elemento 32 $2\sigma_{\text{máx}} = 547,20$

$$P_m + Q = 547,20 < 3 S_m = 3150$$

Elemento 33 $2\sigma_{\text{máx}} = 503,60$

$$P_m + Q = 503,60 < 3 S_m = 3150$$

Elemento 47 $2\sigma_{\text{máx}} = 473,20$

$$P_m = 473,20 < S_m = 1050$$

Elemento 48 $2\sigma_{\text{máx}} = 677,60$

$$P_l + P_b = 677,60 < 1,5 S_m = 1575$$

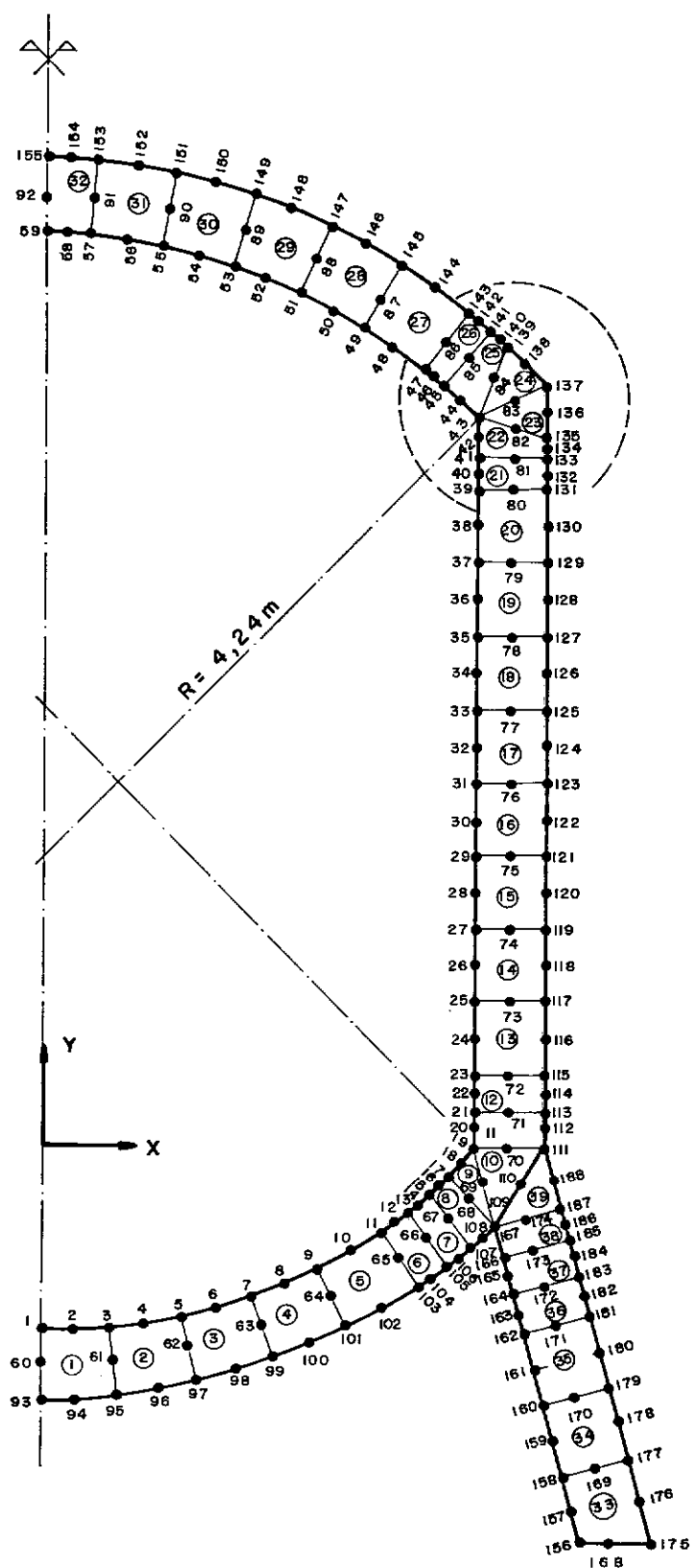
CÁLCULO ANALÍTICO - Tensões de Membrana

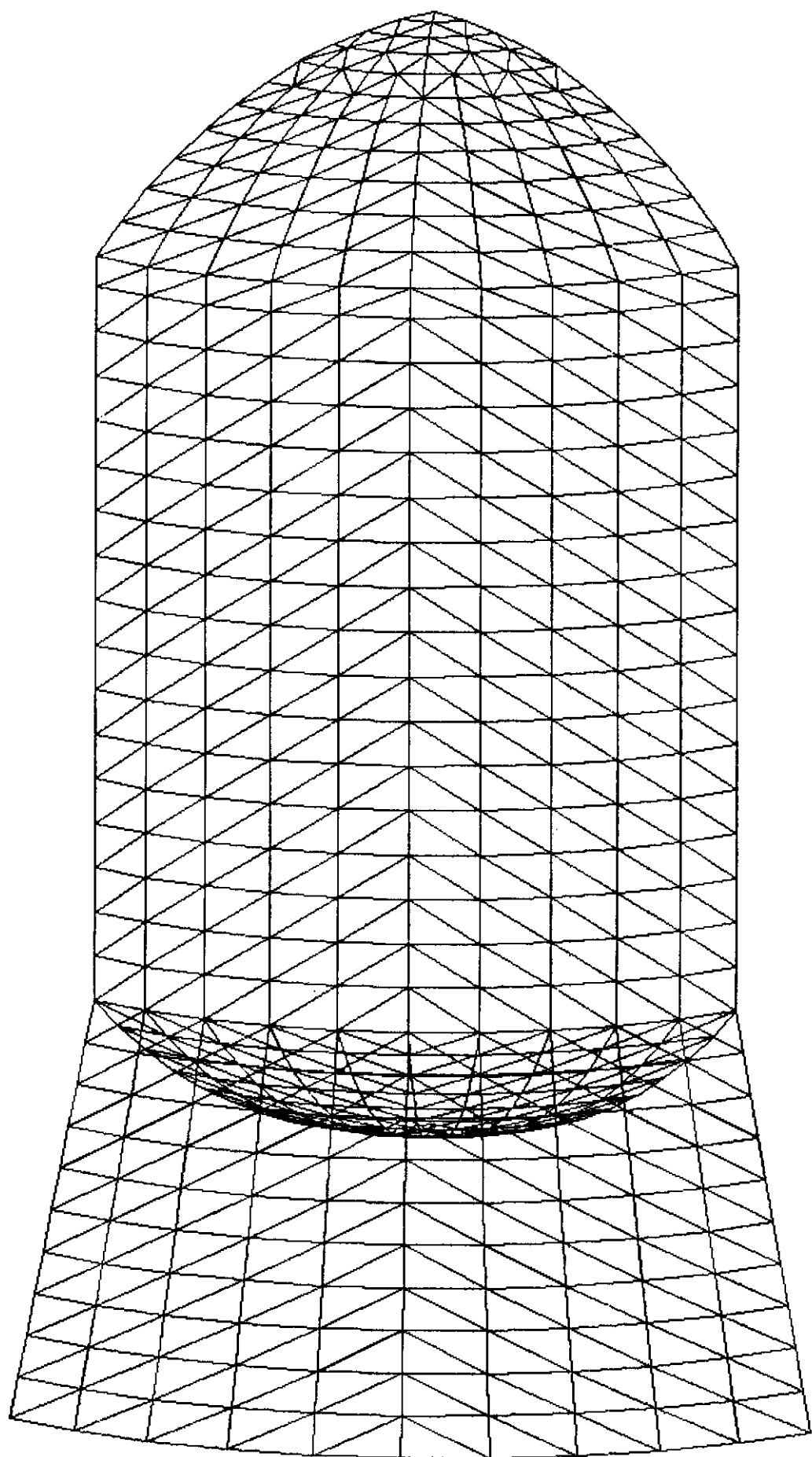
Casco Cilíndrico: $\sigma_x = 468,75 \text{ Kgf/cm}^2$

$$\sigma_{\theta} = 937.50 \text{ Kgf/cm}^2$$

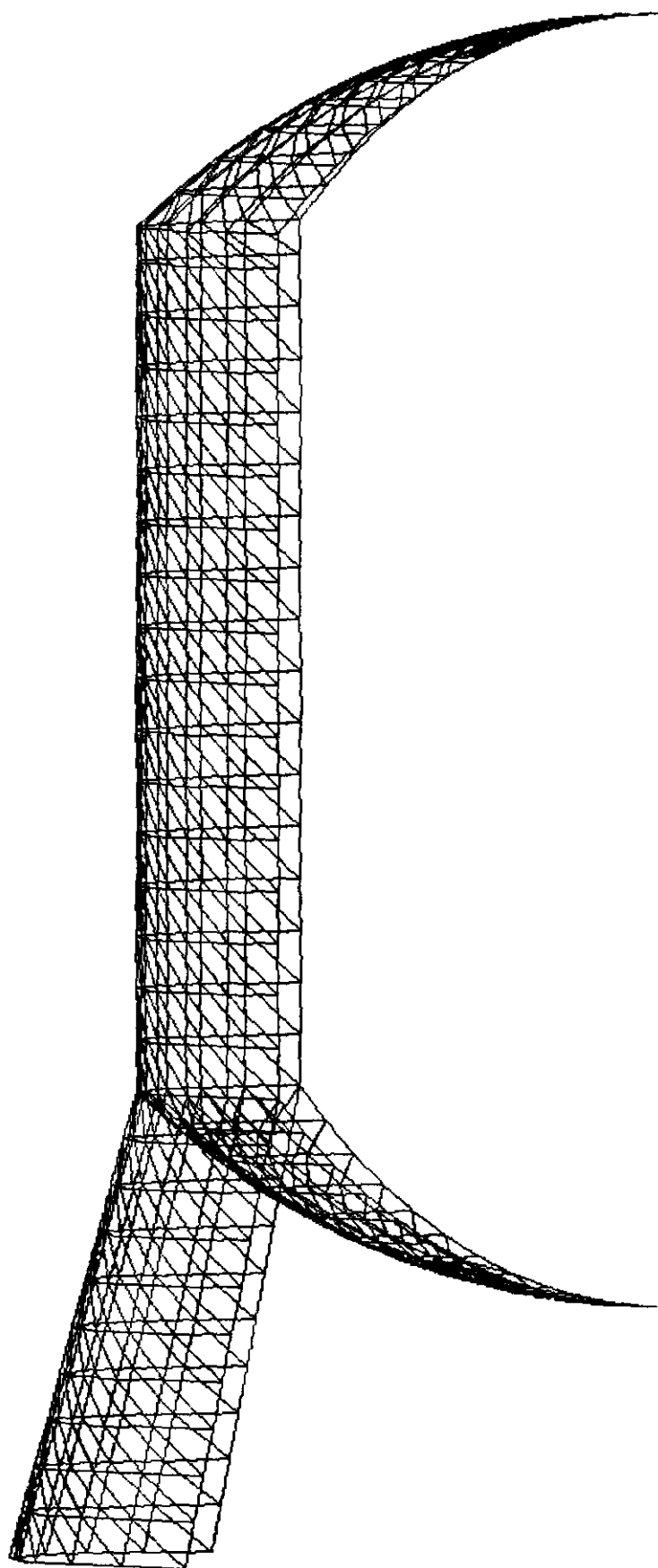
Tampo Hemisférico: $\sigma_{\phi} = \sigma_{\theta} = 468,75 \text{ Kgf/cm}^2$

Na Figura 6.5 são mostrados dois exemplos testados, onde na região destacada pelo círculo, junção casco cilíndrico-calota, não oferece bons resultados devido a grande descontinuidade geométrica, sendo assim, procurou-se a melhor transição entre o cilíndrico e tampo, substituindo a calota pelo tampo hemisférico.





ADEP - Elemento TGCP



VASO DE PRESSÃO

PROJEÇÃO YZ

CAPÍTULO VII

VII - CONCLUSÕES

VII.1 - Conclusões Gerais

Verificou-se a possibilidade da análise criteriosa de tensões, neste caso feita através do Método dos Elementos Finitos, em conjunto com os valores tabelados de tensões por categorias do Código ASME-Seção VIII-Div.2, que conferem ao projetista um dimensionamento mais seguro e econômico.

Através deste trabalho teve-se a oportunidade de verificar tipos de tensões na estrutura envolvendo não apenas as secundárias, como também as primárias, levando a uma melhor adequação da espessura do equipamento, obtendo assim uma maior aproximação de valores entre a tensão admissível do material e a maior tensão que ocorre nas regiões críticas do equipamento solicitado por carregamentos.

Pode-se entretanto, trabalhar com os dois critérios do Código ASME Div. 1 e Div. 2, com a prerrogativa de usar um processo iterativo de ajuste: (espessura calculada pelas equações simplificadas da Div. 1) x (tensão máxima atuante obtida da saída de programa computacional).

A utilização de um sistema computacional adequado para análise de cascas é fator preponderante para obtenção de resultados precisos, confiáveis e passíveis de comparação na análise criteriosa de tensões.

No presente trabalho optou-se pelo Método dos Elementos Finitos. Assim, a discretização da malha exerce uma grande importância nos resultados a serem obtidos. Na utilização do programa ADEP fez-se a tentativa de utilizar dois elementos finitos: TGCP e SIEL. Não foi possível obter resultados destes elementos. O TGCP é um elemento triangular de três nós, tipo "flat", que necessita de um grande refinamento da malha para que o mesmo possa ter uma boa conformação na estrutura de casca. Foi despendido um grande período deste trabalho na tentativa de adaptá-lo a Vasos de Pressão, mas os seus resultados ainda não tiveram a precisão desejada, o que faz necessário mais algumas modificações para a sua utilização, pois é um elemento testados apenas para tubulações. O elemento SIEL é um elemento de casca, a sua malha não requer alto refinamento na discretização e ainda se encontra em fase de teste.

Com o programa AEPES e carregamento axissimétrico (pressão interna), foram obtidos resultados confiáveis, por ser um elemento já de uso corrente. A malha tem um baixo grau de refinamento, que por sua vez leva um baixo custo operacional.

VII.2 - FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Como sugestões para desenvolvimentos posteriores indicam-se:

1) Quanto ao tipo de carregamento:

- . efeito de temperatura - tensões térmicas em vasos de pressão influência muito nas regiões de interseção de tipos diferentes de casca.
- . fadiga (ASME, Seção VIII-2 - Apêndice 5)
- . carregamento não axissimétricos.

2) Quanto ao método computacional:

- . Elementos Finitos - utilizar outros elementos de cascas. No caso da Petrobrás ajustar os elementos dos programas :

a) ADEP

- . TGCP - ajustá-lo a Vasos de Pressão e avaliar o seu custo operacional
- . SIEL - encontra-se em período de teste, com condições bem favoráveis quanto ao tipo de elemento (casca) e pequeno refinamento de malha.

b) AEPES

Está sendo acrescentado o efeito de flexão na sua formulação.

. Outros processos adaptativos de elementos finitos.

APÊNDICE 1**TABELA 1 - fator de eficiência de junta (E)**

TABELA 1

MAXIMUM ALLOWABLE JOINT EFFICIENCIES FOR ARC AND GAS WELDED JOINTS

No.	Type of Joint Description	Limitations	Degree of Examination		
			(a) Fully Radio- graphed ¹	(b) Spot Examined ²	(c) Not Spot Examined ³
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips which remain in place are excluded.	None	1.00	0.85	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	(a) None except as in (b) below (b) Butt weld with one plate offset—for circumferential joints only, see UW-13(c) and Fig. UW-13.1 sketch (k)	0.90	0.80	0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip.	Circumferential joints only, not over 15 mm thick and not over 610 mm outside diameter	...	...	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	Longitudinal joints not over 10 mm thick. Circumferential joints not over 15 mm thick	...	...	0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	(a) Circumferential joints ⁴ for attachment of heads not over 610 mm outside diameter to shells not over 12 mm thick (b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over 15 mm in nominal thickness where the distance from the center of the plug weld to the edge of the plate is not less than $1\frac{1}{2}$ times the diameter of the hole for the plug.	...	...	0.50
(6)	Single full fillet lap joints without plug welds	(a) For the attachment of heads convex to pressure to shells not over 15 mm required thickness, only with use of fillet weld on inside of shell; or (b) for attachment of heads having pressure on either side, to shells not over 610 mm inside diameter and not over 6 mm required thickness with fillet weld on outside of head flange only.	...	...	0.45

APÊNDICE 2

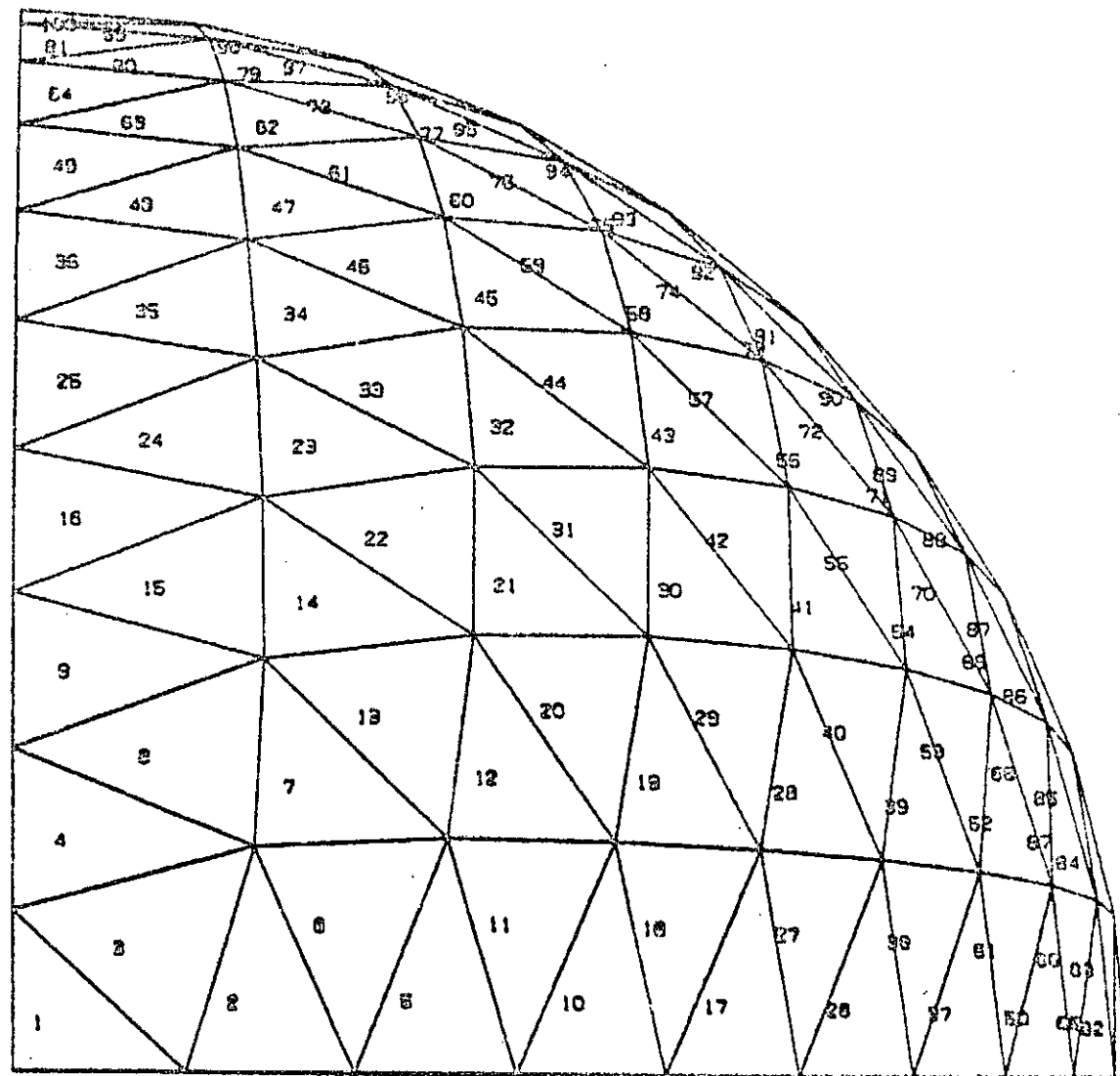
EXEMPLO 1

SAÍDA DAS TENSÕES PRINCIPAIS - AEPES

TENSOES PRINCIPAIS - CUPULA - A E P E S
(KG / CM2)

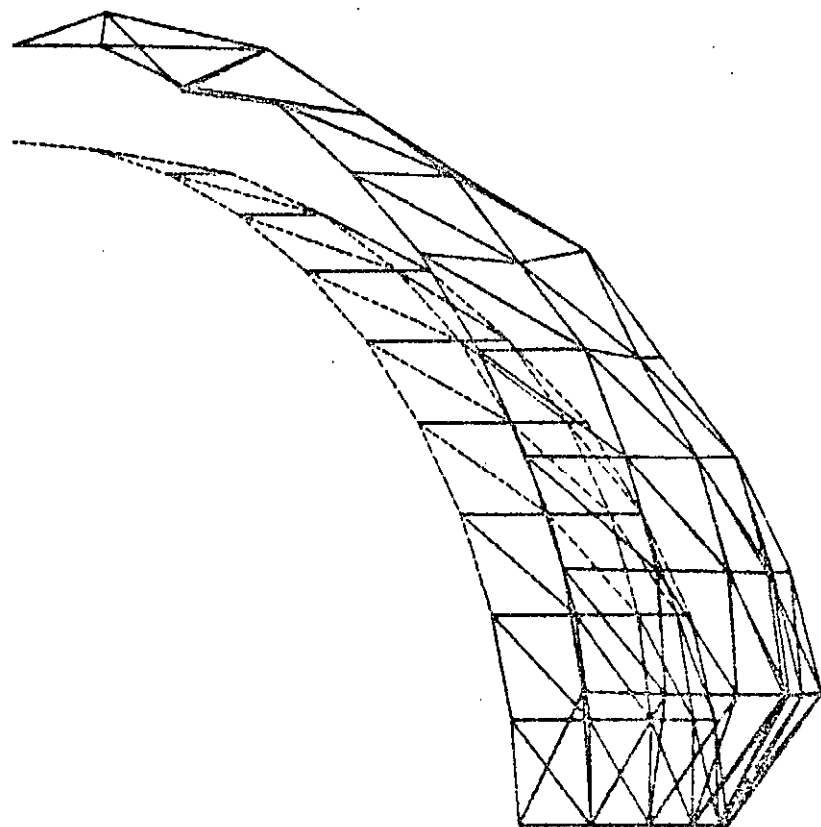
ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 TAUMAX
1	1	1234.000	29.620	65.710	1204.200
	2	1213.000	-74.990	118.600	1237.300
	3	1320.000	11.960	291.100	1307.600
	4	1735.000	354.800	604.400	1280.400
2	1	610.400	-102.300	404.600	712.600
	2	943.700	-32.350	212.200	976.000
	3	1069.000	28.250	39.880	1040.400
	4	889.700	-39.810	-36.150	929.400
3	1	803.200	38.980	1429.000	764.200
	2	594.200	-14.300	1233.000	609.600
	3	671.900	9.010	974.700	663.000
	4	1011.000	119.000	794.000	892.200
4	1	449.600	.526	1242.000	449.000
	2	399.700	1.961	1255.000	397.800
	3	463.600	-3.698	1364.000	472.200
	4	609.900	-30.650	1370.000	640.600
5	1	316.600	66.350	835.900	250.200
	2	204.600	18.380	992.900	136.220
	3	247.700	-11.860	1162.000	259.600
	4	443.800	6.176	1310.000	437.600
6	1	85.960	-348.700	-137.500	434.600
	2	205.600	28.000	170.400	177.580
	3	240.400	-6.830	446.100	247.200
	4	-16.790	-109.700	551.800	92.900

MALHAS DO PROGRAMA ADEP
ELEMENTO TGCP



ESFERA SUJEITA A PRESSAO INTERNA ADEP-TOCP
XY PROJECTION

CONFIGURAÇÃO DA DEFORMADA



CONFIGURATION 1 - DISPLACEMENTS
PERSPECTIVE FROM XY PROJECTION - ANGLES: 45, 0, 90.

EXEMPLO 2

SAÍDA DAS TENSÕES PRINCIPAIS - AEPES

TENSOES PRINCIPAIS - VASO - A E P E S
(KG / CM2)

ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 TAUMAX
1	1	1.726	-504.400	-505.900	506.000
	2	2.684	-492.600	-494.200	495.400
	3	4.006	-477.200	-478.800	481.200
	4	5.073	-465.300	-466.900	470.400
2	1	.346	-498.800	-469.800	499.200
	2	1.380	-488.000	-458.400	489.400
	3	2.794	-473.700	-443.500	476.400
	4	3.929	-462.600	-432.000	466.600
3	1	.376	-496.000	-402.300	496.400
	2	1.287	-485.900	-391.600	487.200
	3	2.537	-472.700	-377.400	475.200
	4	3.542	-462.400	-366.500	466.000
4	1	.788	-492.200	-296.300	493.000
	2	1.452	-483.400	-286.300	484.800
	3	2.371	-472.000	-273.200	474.400
	4	3.116	-463.100	-263.100	466.200
5	1	.991	-487.600	-156.200	488.600
	2	1.437	-480.600	-147.100	482.000
	3	2.060	-471.400	-135.300	473.400
	4	2.571	-464.300	-126.100	466.800
6	1	1.119	-482.300	11.860	483.400
	2	1.312	-477.400	19.770	478.600
	3	1.596	-470.800	30.140	472.400
	4	1.839	-465.800	38.140	467.600

TENSOES PRINCIPAIS
(KG / CM2)

- VASO

- A E P E S

ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 TAUMAX
7	1	1.167	-476.700	200.100	477.300
	2	1.101	-473.900	206.200	475.000
	3	1.035	-470.200	215.500	471.200
	4	1.000	-467.400	222.200	468.400
8	1	1.120	-470.800	400.000	472.000
	2	.807	-470.300	405.400	471.000
	3	.406	-469.600	412.400	470.000
	4	.105	-469.100	417.800	469.200
9	1	1.072	-464.900	602.700	466.000
	2	.492	-466.700	606.700	467.200
	3	-.268	-469.000	612.000	468.200
	4	-.854	-470.800	616.100	470.000
10	1	1.215	-458.300	799.300	459.600
	2	.314	-462.600	801.900	463.000
	3	-.877	-468.400	805.300	467.400
	4	-1.804	-472.800	802.000	471.000
11	1	-.911	-457.700	976.600	456.800
	2	-1.104	-462.200	973.900	461.000
	3	-1.370	-468.000	981.900	466.600
	4	-1.590	-472.600	984.200	471.000
12	1	1.435	-456.400	1136.000	457.800
	2	-.727	-461.800	1137.000	461.000
	3	-3.563	-468.800	1138.000	465.200
	4	-5.746	-474.300	1139.000	468.600

TENSOES PRINCIPAIS - VASO - A E P E S
(KG / CM2)

ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 THUMAX
13	1	20.460	-374.400	1307.000	394.800
	2	11.690	-412.500	1296.000	424.200
	3	.106	-462.500	1282.000	462.600
	4	-2.893	-501.200	1271.000	492.400
14	1	-62.660	-549.300	1231.000	436.600
	2	-32.680	-513.400	1253.000	480.800
	3	6.701	-465.900	1282.000	472.600
	4	37.040	-429.100	1304.000	466.200
15	1	-186.900	-1282.000	994.700	1095.000
	2	-92.980	-851.200	1155.000	758.200
	3	32.660	-290.800	1364.000	323.400
	4	182.500	86.390	1525.000	96.100
16	1	689.300	-744.700	1940.000	1434.000
	2	490.700	-978.700	1814.000	1469.400
	3	205.400	-1274.000	1645.000	1479.600
	4	-31.560	-1492.000	1512.000	1460.600
17	1	1550.000	-319.100	2605.000	1858.800
	2	942.900	-183.200	2468.000	1126.000
	3	350.900	-201.200	2291.000	552.000
	4	354.300	-669.000	2155.000	1023.200
18	1	-35.060	-155.400	1540.000	120.340
	2	293.600	-51.470	1672.000	345.000
	3	723.000	83.160	1846.000	639.800
	4	1052.000	186.200	1979.000	865.800

TENSOES PRINCIPAIS
(KG / CM2)

- VASO

- R E P E S

ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 THUMAX
19	1	508.900	149.700	902.600	359.200
	2	484.400	52.580	867.500	431.800
	3	452.500	-73.860	822.100	526.400
	4	428.300	-170.600	787.400	598.800
20	1	482.400	-34.430	908.700	516.800
	2	471.200	-16.380	912.700	488.200
	3	457.800	7.128	917.700	450.600
	4	447.000	25.110	921.500	422.000
21	1	462.000	.349	943.600	461.600
	2	465.700	-1.065	945.900	466.200
	3	470.500	-2.894	949.100	473.400
	4	474.100	-4.286	951.500	478.400
22	1	468.000	1.032	934.700	467.000
	2	467.700	-1.143	935.600	468.800
	3	467.300	-3.975	936.900	471.200
	4	467.000	-6.141	937.800	473.200
23	1	467.700	-.665	935.100	468.400
	2	467.600	-1.785	936.400	469.400
	3	467.400	-3.240	938.100	470.600
	4	467.300	-4.350	939.500	471.600
24	1	467.400	-.339	935.400	467.800
	2	467.500	-1.642	936.700	469.200
	3	467.500	-3.335	938.500	470.800
	4	467.600	-4.629	939.800	472.200

TENSOES PRINCIPAIS
(KG / CM2)

USO

A E P E S

ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 THUMAX
25	1	467.500	- .318	935.300	467.800
	2	467.500	-1.638	936.600	469.200
	3	467.500	-3.354	938.300	470.800
	4	467.500	-4.664	939.600	472.200
26	1	467.500	- .341	935.400	467.800
	2	467.500	-1.647	936.600	469.200
	3	467.500	-3.344	938.300	470.800
	4	467.500	-4.640	939.700	472.200
27	1	467.400	- .374	935.300	467.800
	2	467.500	-1.658	936.600	469.200
	3	467.600	-3.326	938.300	470.800
	4	467.600	-4.600	939.700	472.200
28	1	467.800	- .163	935.600	468.000
	2	467.600	-1.580	936.200	469.200
	3	467.400	-3.423	938.400	470.800
	4	467.200	-4.831	939.700	472.000
29	1	468.200	- .498	935.500	468.800
	2	467.700	-1.721	936.700	469.400
	3	467.100	-3.312	938.200	470.400
	4	466.600	-4.527	939.400	471.200
30	1	459.800	-2.520	929.600	462.200
	2	464.900	-2.345	932.900	467.200
	3	471.600	-2.107	937.200	473.800
	4	476.800	-1.917	940.500	478.800

TENSOES PRINCIPAIS
(KG / CM2)

USO

A E P E S

ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 TRUMAX
31	1	486.600	10.990	956.600	475.600
	2	474.500	2.643	952.200	471.200
	3	458.800	-8.241	946.500	467.000
	4	446.700	-16.580	942.100	463.200
32	1	552.100	4.956	963.300	547.200
	2	497.500	-1.090	947.100	497.600
	3	426.300	-6.686	926.000	433.000
	4	371.800	-11.750	909.700	383.600
33	1	325.300	-51.490	615.000	376.200
	2	327.300	-27.790	641.900	415.000
	3	468.400	3.257	677.200	465.000
	4	530.700	27.150	704.300	503.600
34	1	453.300	36.350	465.600	417.000
	2	457.600	16.860	461.900	440.200
	3	463.500	-8.475	457.200	472.000
	4	468.200	-27.820	453.700	436.000
35	1	477.700	1.901	461.200	475.800
	2	474.100	1.950	460.800	472.200
	3	469.400	1.985	460.400	467.400
	4	465.700	1.990	460.000	463.800
36	1	465.200	-2.324	467.600	467.600
	2	466.400	-2.735	468.700	469.200
	3	468.100	-3.259	470.200	471.400
	4	469.400	-3.650	471.300	473.000

TENSOES PRINCIPAIS

- UNDO

- H E P E S

(KG / CM2)

ELEMENTO	PONTO DE INTEGRACAO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 TAUMAX
37	1	466.000	.047	466.600	466.000
	2	466.300	-1.537	467.200	462.400
	3	467.800	-3.594	462.000	471.400
	4	468.600	-5.165	468.600	473.300
38	1	466.600	-.303	466.300	466.800
	2	467.200	-1.597	467.000	468.800
	3	467.900	-3.277	467.800	471.200
	4	468.600	-4.559	468.400	473.200
39	1	466.400	-.367	466.400	466.800
	2	467.100	-1.659	467.100	468.800
	3	467.900	-3.337	468.000	471.200
	4	468.600	-4.617	468.600	473.200
40	1	466.400	-.341	466.400	466.800
	2	467.100	-1.648	467.100	468.800
	3	467.900	-3.344	467.900	471.200
	4	468.600	-4.638	468.600	473.200
41	1	466.400	-.341	466.400	466.800
	2	467.100	-1.645	467.100	468.800
	3	467.900	-3.340	467.900	471.200
	4	468.600	-4.632	468.600	473.200
42	1	466.400	-.343	466.400	466.800
	2	467.100	-1.647	467.100	468.800
	3	467.900	-3.340	467.900	471.200
	4	468.600	-4.631	468.600	473.200

TENSOES PRINCIPAIS
(KG / CM2)

- VASO

- A E P E S

ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 TAUMAX
43	1	466.400	-.343	466.400	466.800
	2	467.100	-1.647	467.100	468.800
	3	467.900	-3.340	467.900	471.200
	4	468.600	-4.632	468.600	473.200
44	1	466.400	-.342	466.400	466.800
	2	467.100	-1.646	467.100	468.800
	3	467.900	-3.340	467.900	471.200
	4	468.600	-4.631	468.600	473.200
45	1	466.400	-.342	466.400	466.800
	2	467.100	-1.647	467.100	468.800
	3	467.900	-3.340	467.900	471.200
	4	468.600	-4.633	468.600	473.200
46	1	466.400	-.343	466.400	466.800
	2	467.100	-1.646	467.100	468.800
	3	467.900	-3.338	467.900	471.200
	4	468.600	-4.629	468.600	473.200
47	1	466.400	-.370	466.400	466.800
	2	467.100	-1.659	467.100	468.800
	3	467.900	-3.331	467.900	471.200
	4	468.600	-4.606	468.600	473.200
48	1	872.100	194.600	316.300	677.600
	2	818.900	169.800	293.000	649.200
	3	749.900	137.300	262.600	612.600
	4	697.200	112.000	239.300	585.200

TENSÕES PRINCIPAIS
(KG / CM2)

- VASO

- A E P E S

ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 TAUMAX
49	1	681.700	-7.559	49.950	689.200
	2	732.200	16.980	72.460	715.200
	3	798.800	49.040	102.100	749.800
	4	850.500	73.660	125.000	776.800
50	1	780.600	34.590	-4.572	746.000
	2	775.400	16.590	-11.640	758.800
	3	768.200	-7.379	-21.150	775.600
	4	762.200	-26.140	-28.650	788.400
51	1	791.000	-6.325	-4.600	797.400
	2	788.400	-2.809	-4.392	791.200
	3	785.200	1.861	-4.057	783.400
	4	782.900	5.503	-3.753	777.400
52	1	803.500	-.309	1.638	803.800
	2	804.300	.000	1.899	804.400
	3	805.400	.408	2.242	805.000
	4	806.200	.724	2.508	805.400
53	1	822.500	.390	.035	822.200
	2	822.800	.138	-.031	822.600
	3	823.100	-.080	-.121	823.200
	4	823.400	-.290	-.193	823.600
54	1	842.300	.233	.404	842.000
	2	842.100	.101	.209	842.000
	3	841.800	-.078	-.052	841.800
	4	841.500	-.221	-.256	841.800

TENSOES PRINCIPAIS - VASO - A E P E S
(KG / CM2)

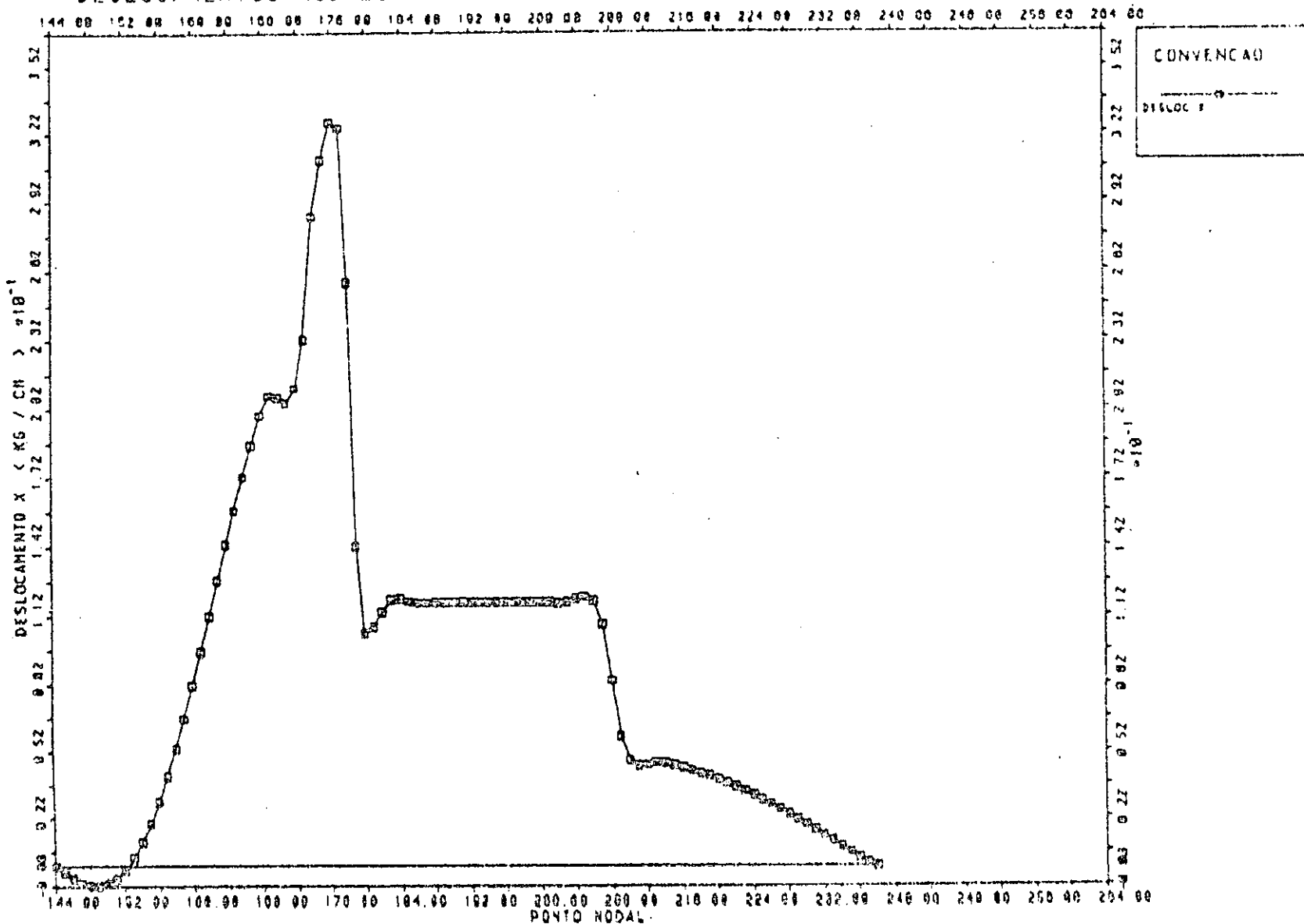
ELEMENTO	PONTO DE INTEGRAÇÃO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 THUMAX
55	1	262.100	-.388	-.138	262.400
	2	261.900	-.200	-.269	262.000
	3	261.700	.064	-.360	261.600
	4	261.600	.221	-.419	261.400
56	1	273.100	-3.453	-6.500	276.600
	2	279.300	-1.521	-4.172	280.800
	3	287.400	1.075	-1.035	286.400
	4	293.700	3.124	1.333	299.600
57	1	933.700	19.990	28.790	913.800
	2	916.200	9.277	20.250	907.000
	3	892.200	-5.405	8.578	897.200
	4	873.200	-17.210	-.775	890.400
58	1	958.000	-29.860	-7.582	927.800
	2	934.400	-14.970	-10.250	949.400
	3	906.700	6.164	-12.390	900.400
	4	887.600	23.630	-13.010	864.000
59	1	469.700	-155.200	-374.000	624.800
	2	779.500	-69.380	-255.900	248.800
	3	1191.000	38.520	-100.600	1152.600
	4	1510.000	120.400	19.390	1390.000
60	1	1008.000	222.900	782.400	785.400
	2	1018.000	131.900	759.000	826.000
	3	1030.000	-.828	724.400	1031.200
	4	1038.000	-111.600	694.700	1149.600

TENSOES PRINCIPAIS - VASO - A E P E S
(KG / CM2)

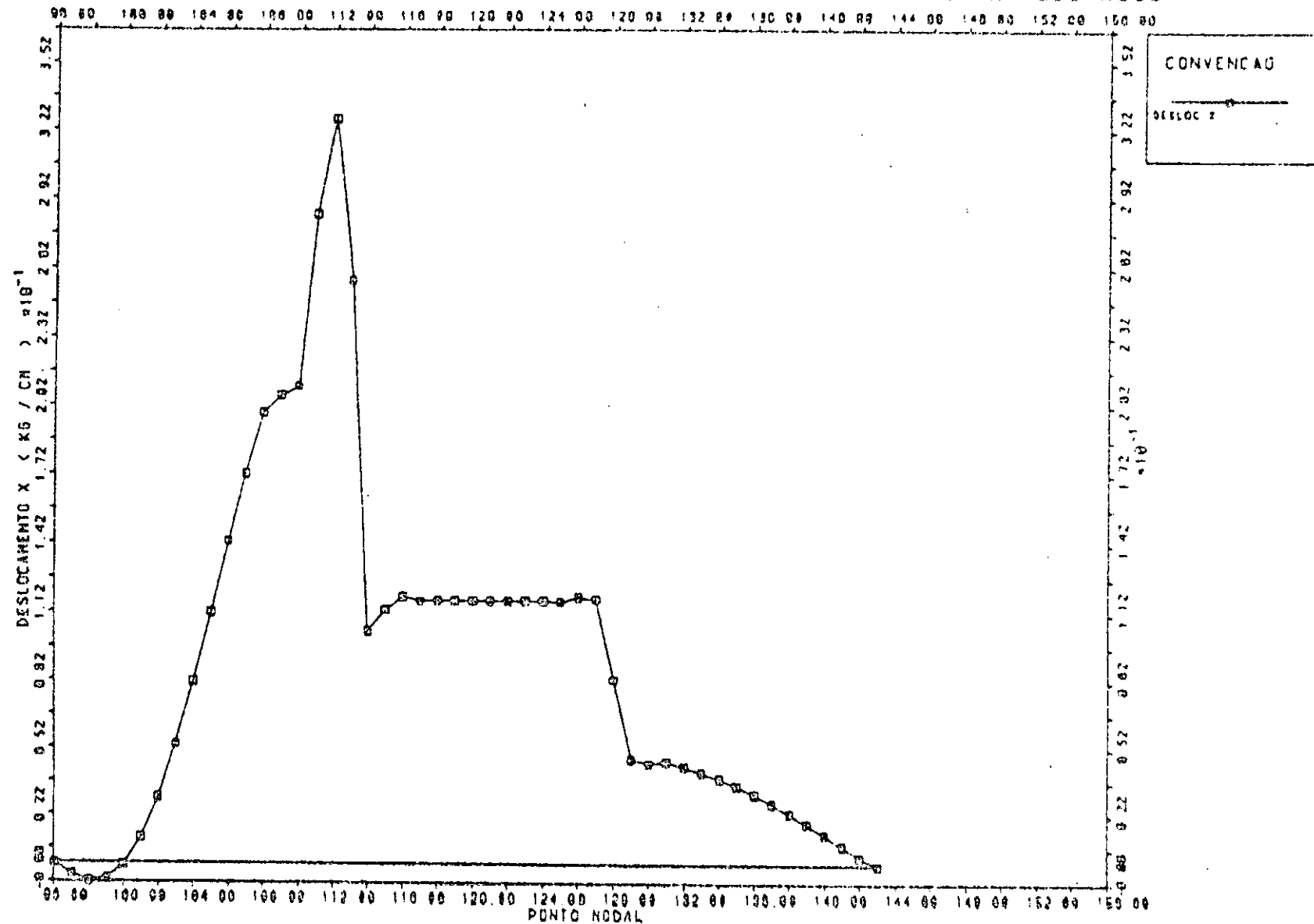
ELEMENTO	PONTO DE INTEGRACAO	SIGMA1	SIGMA2	SIGMA3	2 TRUMAX
61	1	2607.000	261.400	2303.000	2346.000
	2	1771.000	-36.410	2466.000	1207.000
	3	687.000	-463.500	2012.000	1150.600
	4	-86.390	-371.600	1667.000	735.200

SAÍDA DOS DESLOCAMENTOS - AEPES

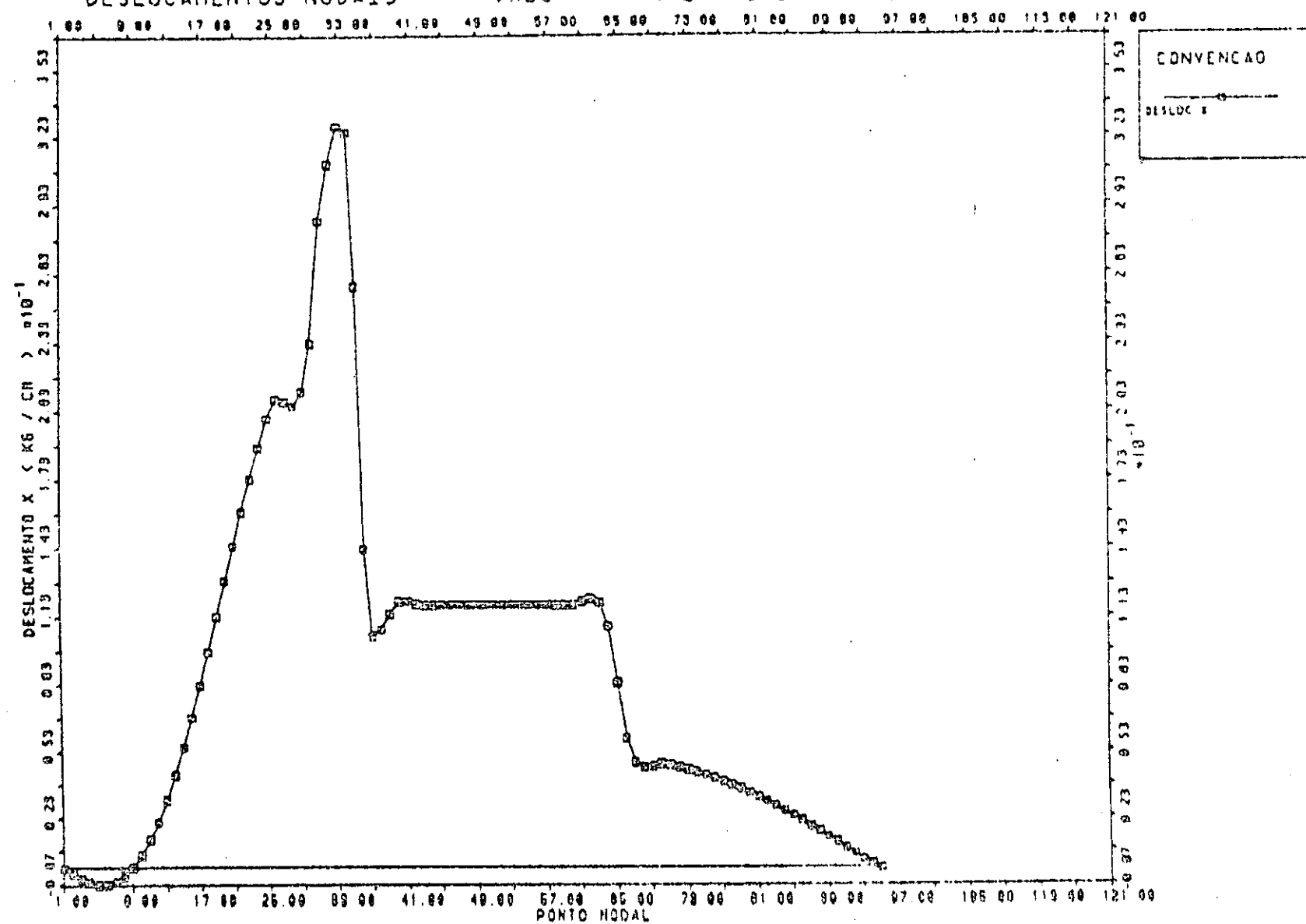
DESLOCAMENTOS NODAIS - VASO - A E P E S NOS EXTERNOS



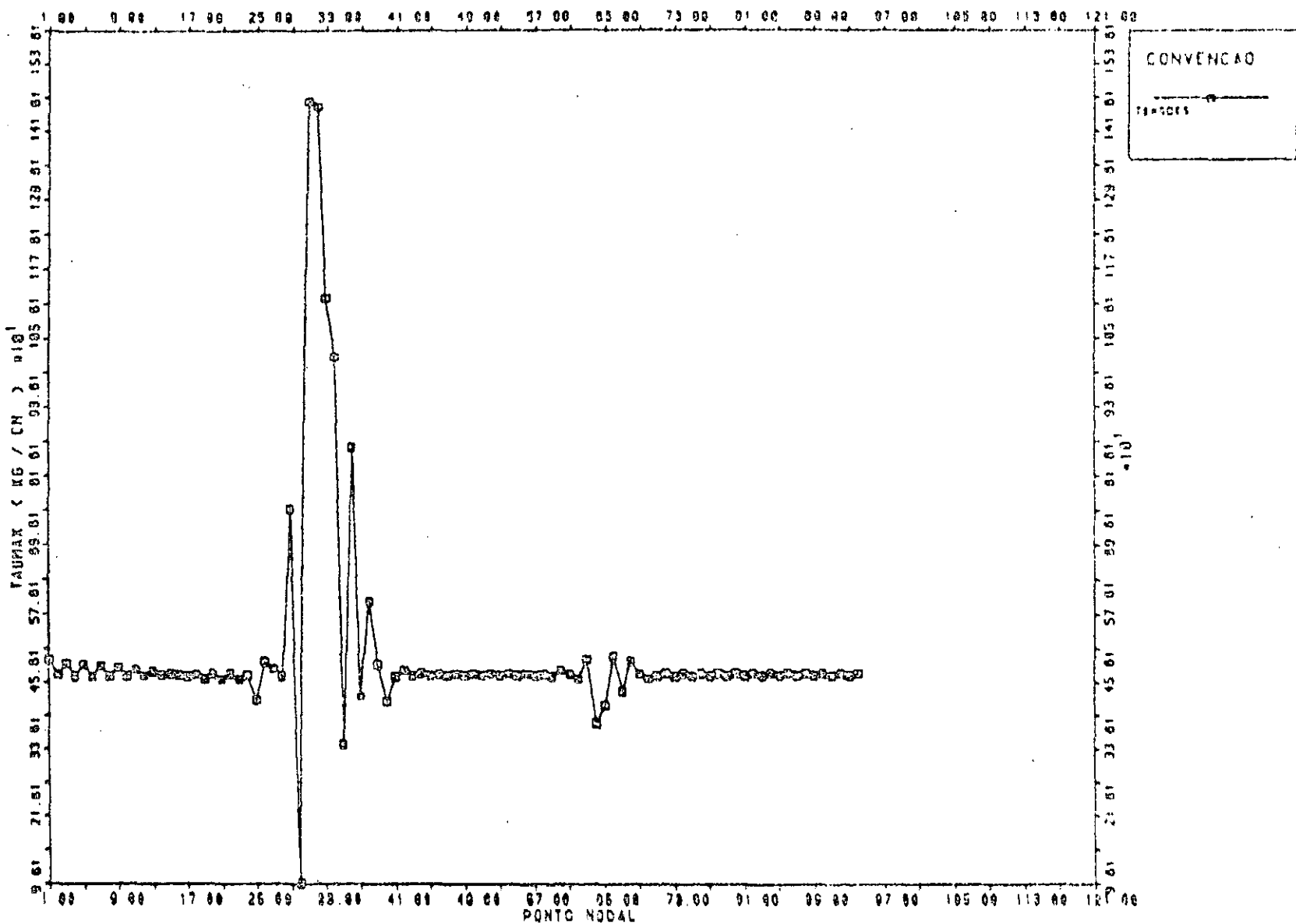
DESLOCAMENTOS NODAIS - VASO - A E P E S NOS INTERMEDIARIOS



DESLOCAMENTOS NODAIS - VASO - A E P E S NOS INTERNOS

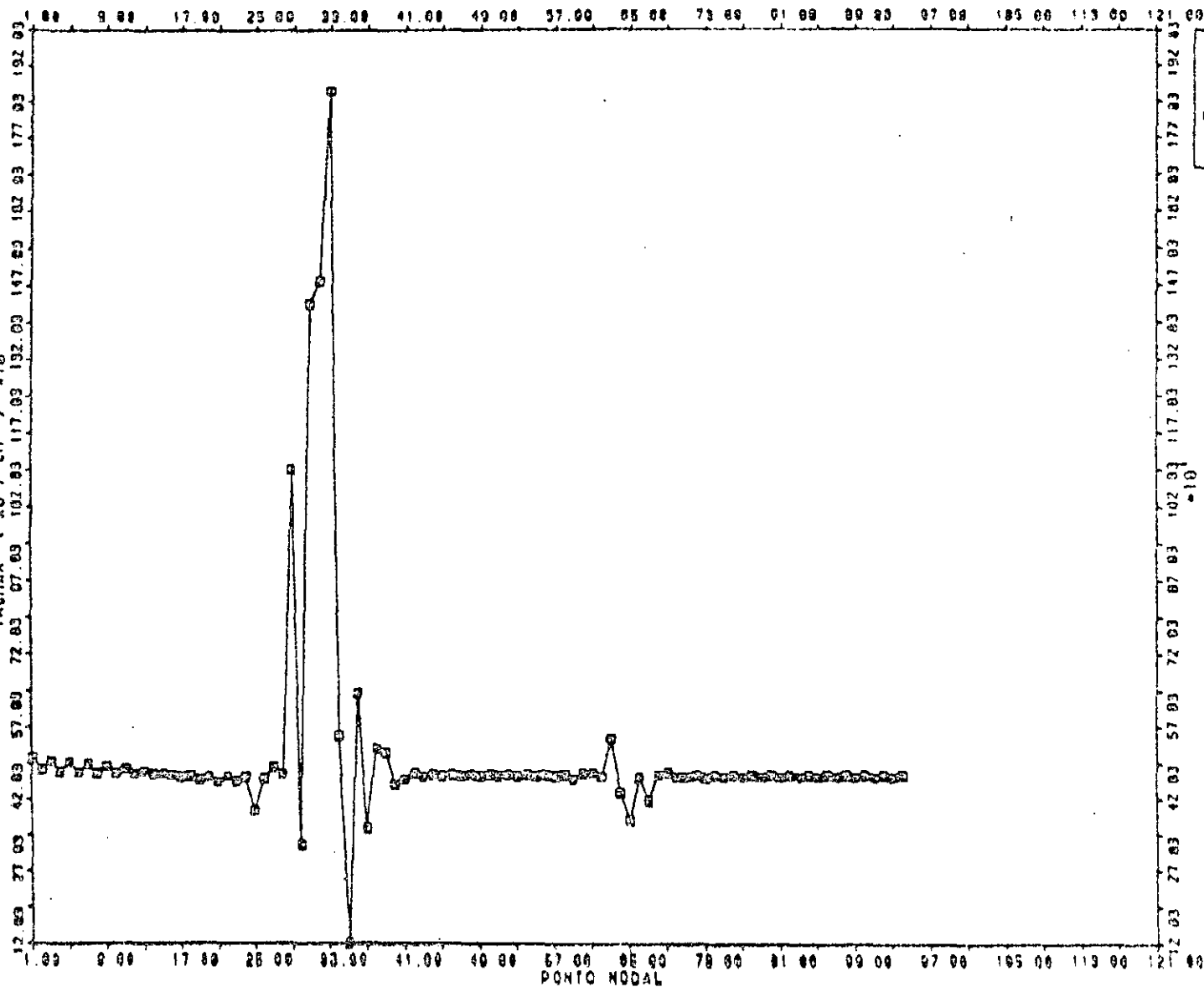


TENSOES PRINCIPAIS - VASO - A E P E S NOS EXTERNOS



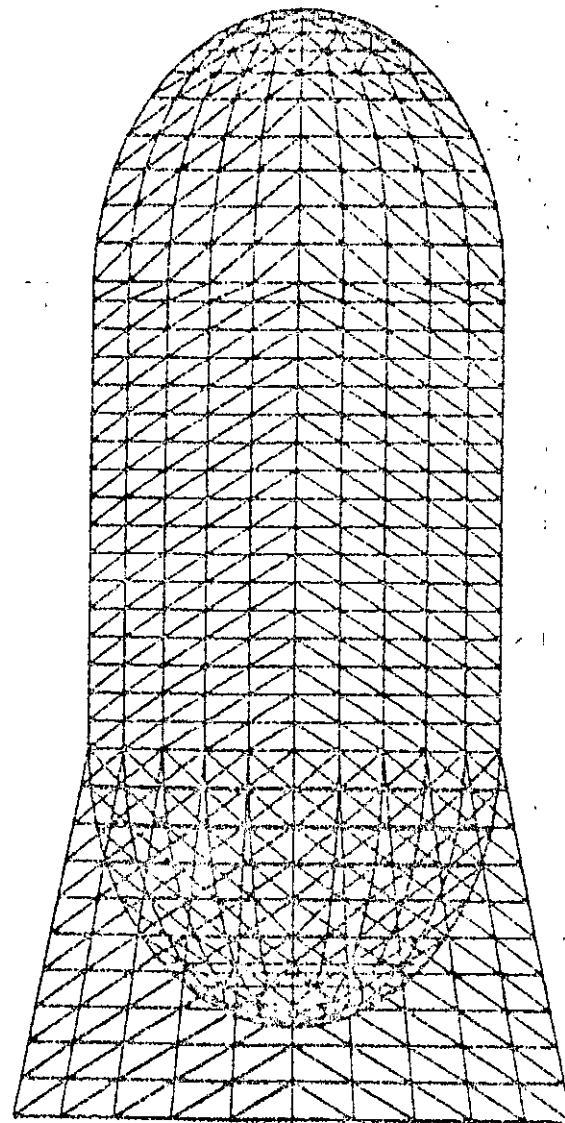
TENSOES PRINCIPAIS - VASO - A E P E S NOS INTERNOS

TAU MAX (KG / CM) x 10¹



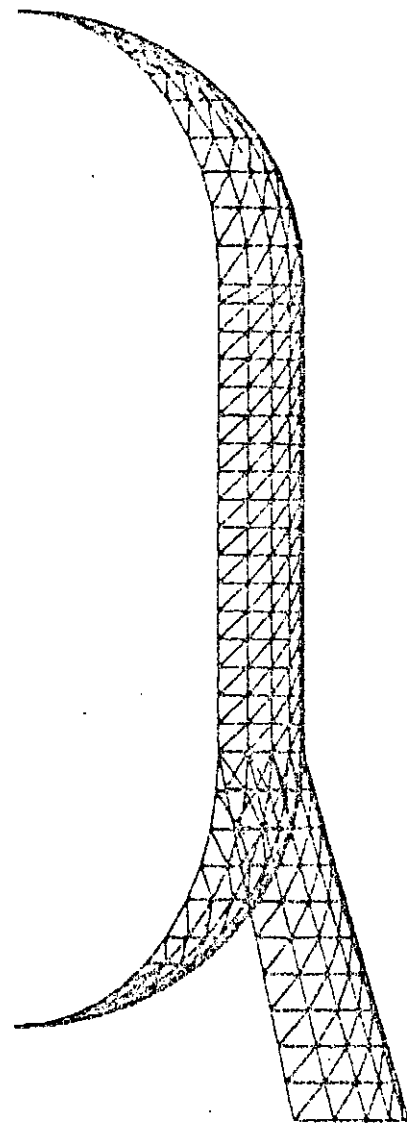
MALHAS DO PROGRAMA ADEP

ELEMENTO TGCP



VASO ADEP-TOCP

PERSPECTIVE FROM XZ PROJECTION - ANGLES: 195, 0, 0.

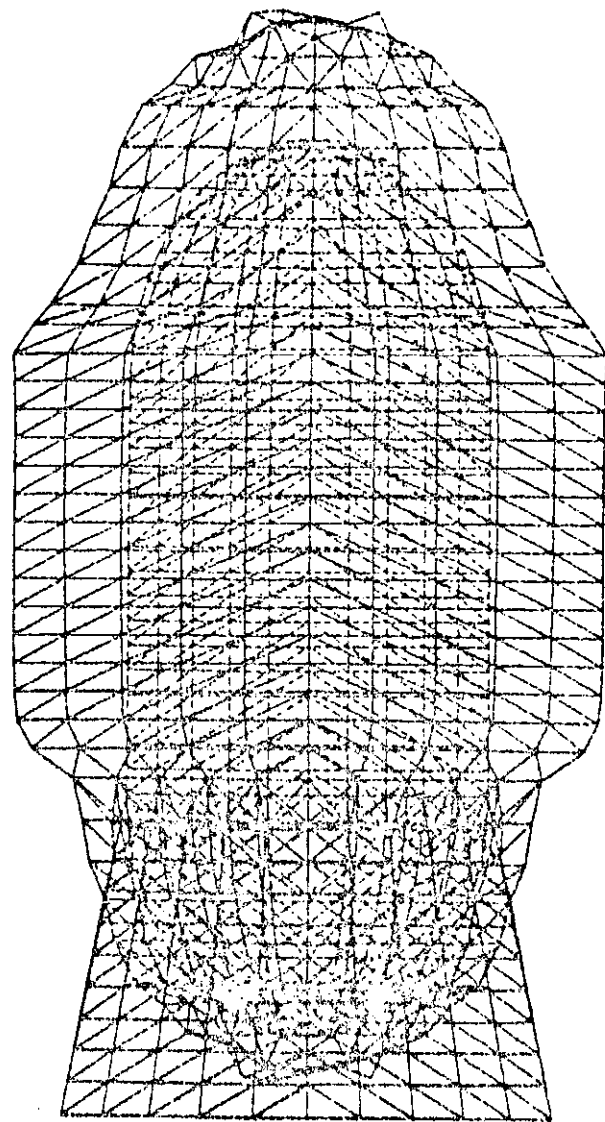


VASO ADEP-TOCP

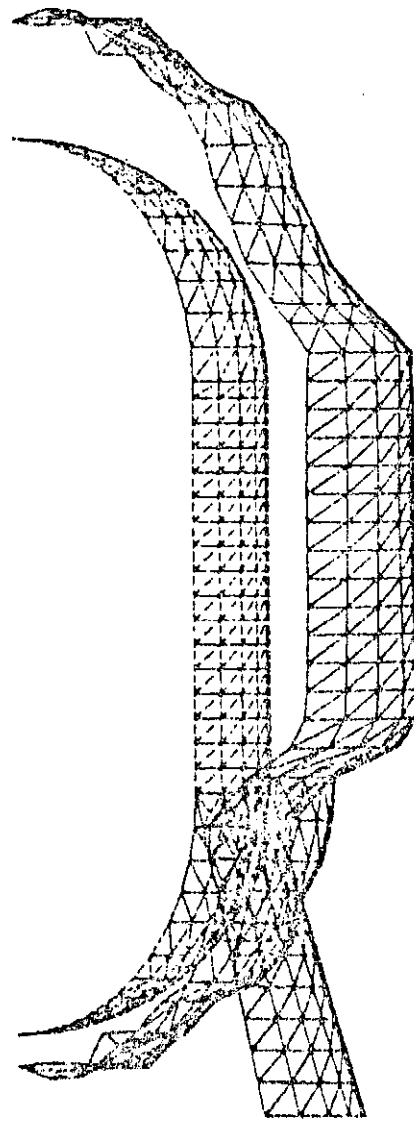
PERSPECTIVE FROM YZ PROJECTION - ANGLES: -45. 0. 0.

•

CONFIGURAÇÃO DA DEFORMADA



CONFIGURATION 1 - DISPLACEMENTS
PERSPECTIVE FROM XZ PROJECTION - ANGLES: -45, 0, 0.



CONFIGURATION 1 - DISPLACEMENTS
PERSPECTIVE FROM YZ PROJECTION - ANGLES: -45, 0, 45

SAÍDA DAS TENSÕES PRINCIPAIS - ADEP

----- SUPERIOR -----			UASO	DEEP	----- INFERIOR -----		
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	
1	456.532	194.467	131.032	690.759	440.443	120.158	
2	415.525	164.213	125.654	547.796	363.654	92.066	
3	416.441	190.248	113.096	535.715	370.029	22.843	
4	415.362	196.051	109.655	534.920	374.057	20.432	
5	420.537	209.766	105.385	525.977	380.571	72.703	
6	388.523	190.623	98.950	354.821	265.337	44.742	
7	417.306	212.992	102.157	530.446	376.096	77.175	
8	415.178	196.227	109.476	535.166	373.802	80.682	
9	415.839	190.794	112.547	536.463	369.272	23.595	
10	412.246	167.503	122.372	552.110	359.327	96.392	
11	454.175	196.840	128.668	683.290	437.909	122.690	
12	1067.480	561.010	253.236	815.793	176.312	319.740	
13	992.976	566.486	213.245	706.157	205.436	250.360	
14	980.927	577.112	201.908	704.401	231.459	236.471	
15	980.424	582.415	199.035	703.421	239.546	231.937	
16	979.342	590.372	194.485	707.332	247.482	229.925	
17	928.357	606.819	161.019	578.891	238.926	144.982	
18	981.219	588.490	196.364	705.729	249.075	222.327	
19	980.528	582.364	199.082	703.382	239.570	231.906	
20	981.144	576.892	202.126	704.216	231.630	236.293	
21	994.948	564.520	215.214	704.465	207.121	248.672	
22	1062.930	565.540	248.693	819.348	172.784	323.282	
23	1061.160	394.028	333.568	985.489	366.261	309.614	
24	1018.320	380.796	318.760	983.518	366.335	308.591	
25	1014.970	385.117	314.928	980.369	368.112	306.129	
26	1017.230	390.574	313.328	976.080	370.573	302.754	
27	1018.440	388.823	314.809	978.642	370.620	304.011	
28	962.210	388.931	286.640	987.750	371.089	308.330	
29	1000.180	407.083	296.547	996.483	352.774	321.855	
30	1000.290	407.505	296.395	992.681	353.964	319.359	
31	997.881	402.210	297.835	997.023	351.445	322.789	
32	1001.880	397.243	302.317	999.637	350.199	324.719	
33	1043.720	411.435	316.141	1003.280	348.500	327.389	

		UNSC		RDLF			
-----		SUPERIOR	-----	-----	-----	INFERIOR	-----
NO	SIGMH1	SIGMH2	SIGI1-SIGI2		SIGMH1	SIGMH2	SIGI1-SIGI2
34	1062.240	397.924	335.157		989.517	367.293	311.262
35	1057.510	383.483	337.015		998.949	364.665	317.142
36	1059.470	332.287	338.592		997.190	356.522	319.331
37	1062.670	386.497	338.084		992.307	356.935	317.661
38	1064.440	334.625	339.907		991.640	354.221	318.709
39	1042.690	375.663	333.513		1010.630	345.408	332.609
40	1049.160	399.901	324.629		1007.190	333.663	334.261
41	1048.400	400.761	323.819		1006.840	342.446	332.196
42	1045.110	396.656	324.227		1011.760	343.938	333.913
43	1042.730	398.268	322.233		1013.950	349.643	332.155
44	1053.410	412.701	320.354		1005.050	352.090	326.482
45	1068.600	396.044	336.276		990.218	364.770	312.724
46	1059.420	383.291	338.065		1000.710	366.086	317.312
47	1061.120	379.416	340.852		1001.540	361.311	319.863
48	1065.250	381.995	341.626		996.537	352.531	319.022
49	1065.940	380.238	342.851		996.450	354.851	320.800
50	1047.570	373.526	337.022		1014.670	348.709	332.982
51	1051.360	394.815	328.273		1011.360	339.945	335.705
52	1050.390	396.852	326.770		1011.790	343.323	334.232
53	1046.230	394.318	325.955		1016.700	346.630	335.034
54	1044.810	397.905	323.453		1015.590	351.188	332.199
55	1054.340	410.235	322.054		1004.870	350.154	327.360
56	1067.620	393.105	337.258		991.892	363.746	314.073
57	1060.430	384.334	338.048		1000.110	365.441	317.337
58	1061.380	379.928	340.727		1001.670	362.462	319.604
59	1065.540	380.995	342.271		997.391	358.352	319.520
60	1065.060	378.838	343.111		998.371	354.957	321.707
61	1049.370	375.675	336.849		1014.510	349.808	332.350
62	1050.980	392.920	329.028		1012.760	340.567	336.097
63	1050.560	395.973	327.295		1012.710	343.023	334.845
64	1046.360	394.964	325.698		1016.960	347.145	334.909
65	1046.260	398.509	323.874		1014.570	350.970	331.798
66	1053.590	407.062	323.266		1006.310	349.373	328.468

----- SUPERIOR -----				----- INFERIOR -----		
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
67	1066.400	390.520	337.942	993.743	363.419	315.162
68	1061.420	385.020	338.200	999.421	364.662	317.379
69	1061.760	380.660	340.551	1001.070	362.575	319.247
70	1065.190	380.331	342.430	997.957	352.303	319.827
71	1064.080	377.959	343.063	999.573	355.406	322.034
72	1051.130	378.121	336.504	1013.170	350.034	331.566
73	1050.170	391.872	329.150	1013.780	341.201	336.289
74	1050.200	395.327	327.437	1013.290	342.967	335.160
75	1046.730	395.715	325.505	1016.390	347.231	334.577
76	1047.450	398.985	324.234	1013.670	350.329	331.642
77	1052.410	404.439	323.986	1008.110	349.100	329.504
78	1065.300	388.460	338.420	995.340	363.315	316.012
79	1062.250	385.355	338.447	998.828	363.973	317.425
80	1062.250	381.368	340.442	1000.360	362.403	315.972
81	1064.570	379.765	342.401	993.652	352.424	320.114
82	1063.270	377.407	342.933	1000.450	355.086	322.234
83	1052.530	380.164	336.185	1011.200	350.061	330.872
84	1049.380	391.301	329.040	1014.630	341.815	336.406
85	1049.640	394.701	327.470	1013.910	343.163	335.371
86	1047.300	396.338	325.481	1015.610	347.141	334.232
87	1048.340	399.267	324.535	1013.040	349.749	331.645
88	1051.270	402.414	324.428	1009.730	348.975	330.376
89	1064.400	386.817	338.789	996.604	363.244	316.680
90	1062.900	385.453	338.723	998.360	363.419	317.471
91	1062.750	381.988	340.382	999.714	362.111	318.202
92	1063.930	379.319	342.305	999.340	358.602	320.369
93	1062.660	377.093	342.784	1001.070	356.585	322.244
94	1053.630	381.834	335.899	1010.600	350.067	330.268
95	1048.710	391.048	328.829	1015.300	342.361	336.470
96	1049.110	394.153	327.477	1014.480	343.459	335.508
97	1047.940	396.820	325.561	1014.820	346.974	333.925
98	1048.950	399.404	324.771	1012.620	349.140	331.740
99	1050.300	400.833	324.733	1011.040	348.855	331.093

SUPERIOR

UNSO - HDEF

INFERIOR

NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
100	1063.690	385.448	339.119	997.554	363.114	317.220
101	1063.420	385.428	338.994	997.991	362.965	317.508
102	1063.140	382.476	340.333	999.233	361.820	318.706
103	1063.420	379.021	342.198	999.894	358.730	320.582
104	1062.180	376.908	342.637	1001.510	357.176	322.166
105	1054.450	383.251	335.601	1009.590	350.148	329.722
106	1048.110	390.981	328.566	1015.650	342.842	336.502
107	1048.730	393.721	327.505	1014.880	343.734	335.575
108	1048.500	397.145	325.675	1014.160	346.841	333.672
109	1049.360	399.477	324.943	1012.350	348.579	331.884
110	1049.520	399.535	324.992	1012.050	348.664	331.694
111	1063.160	384.234	339.464	998.206	362.864	317.671
112	1063.260	385.365	339.249	997.649	362.606	317.522
113	1063.300	382.795	340.252	999.020	361.642	318.639
114	1063.140	378.912	342.115	1000.210	358.709	320.751
115	1061.790	376.753	342.520	1001.810	357.757	322.025
116	1055.020	384.531	335.246	1008.780	350.366	329.209
117	1047.550	391.002	328.273	1016.320	343.250	336.534
118	1048.630	393.438	327.596	1015.020	343.895	335.563
119	1048.830	397.286	325.773	1013.790	346.841	333.477
120	1049.660	399.567	325.045	1012.180	348.059	332.059
121	1048.910	398.405	325.254	1012.780	348.338	332.221
122	1062.860	383.123	339.867	998.510	362.411	313.049
123	1064.280	385.311	339.486	997.339	362.359	317.490
124	1063.100	382.906	340.097	999.178	361.652	318.763
125	1063.190	379.057	342.067	1000.200	358.453	320.871
126	1061.500	376.546	342.476	1001.980	358.315	321.833
127	1055.290	385.735	334.777	1008.250	350.799	328.724
128	1046.990	391.061	327.963	1016.760	343.544	336.607
129	1048.920	393.341	327.790	1014.760	343.883	335.438
130	1048.830	397.198	325.816	1013.750	347.055	333.347
131	1049.850	399.741	325.055	1012.100	347.580	332.260
132	1048.490	397.410	325.541	1013.200	347.770	332.714

----- SUPERIOR -----				----- INFERIOR -----		
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
133	1062.790	382.180	340.304	998.273	361.665	318.304
134	1064.540	385.234	339.654	997.121	362.347	317.397
135	1062.360	382.768	339.795	999.790	361.287	313.952
136	1063.530	379.494	342.017	999.793	357.946	320.923
137	1061.440	376.287	342.576	1001.940	352.762	321.587
138	1055.070	386.210	334.128	1002.220	351.596	328.309
139	1046.540	391.192	327.672	1017.110	343.595	356.756
140	1049.610	393.423	328.095	1014.010	343.723	335.139
141	1042.330	396.822	325.752	1014.110	347.545	323.282
142	1049.780	399.997	324.890	1012.220	347.231	332.493
143	1048.220	396.674	325.771	1013.170	346.315	353.177
144	1063.720	332.253	340.731	996.042	360.015	318.017
145	1064.330	384.983	339.674	996.746	362.383	316.932
146	1061.000	382.487	339.258	1000.350	362.270	319.041
147	1064.020	330.232	341.923	993.546	357.259	320.644
148	1062.020	376.077	342.970	1001.460	353.261	321.301
149	1053.830	387.366	333.231	1009.390	353.173	328.111
150	1046.520	391.579	327.470	1017.250	343.083	337.022
151	1050.560	393.765	328.396	1012.380	343.420	334.480
152	1047.120	396.330	325.425	1014.440	348.161	333.139
153	1048.950	400.360	324.297	1012.460	347.148	332.653
154	1048.790	397.109	325.839	1011.330	344.781	333.272
155	1068.130	389.057	339.537	988.238	352.634	317.802
156	1064.490	388.657	337.918	993.329	360.358	316.425
157	1061.300	387.508	336.896	996.385	357.924	319.230
158	1066.070	386.377	339.849	992.478	352.032	320.223
159	1065.670	379.572	343.047	997.431	354.723	321.354
160	1050.690	385.299	332.697	1013.680	356.688	328.495
161	1050.380	394.862	327.758	1013.010	339.148	336.931
162	1053.630	398.834	327.396	1005.190	339.313	332.940
163	1048.560	400.262	324.150	1009.310	344.981	332.164
164	1048.830	404.317	322.259	1009.260	344.410	332.424
165	1052.310	404.812	323.748	1004.340	336.572	333.884

----- SUPERIOR -----				----- INFERIOR -----		
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
166	960.515	400.548	230.134	980.561	394.614	292.974
167	994.031	370.929	311.551	1004.120	397.009	303.556
168	994.695	371.940	311.378	1000.340	391.307	304.765
169	996.996	371.470	313.763	996.269	385.766	305.252
170	1007.490	363.959	321.767	993.302	369.869	311.716
171	1033.080	356.238	338.422	1029.280	368.360	320.460
172	927.351	384.103	301.624	1012.830	350.342	331.244
173	920.269	390.204	295.033	1014.400	367.627	323.388
174	976.170	390.478	292.246	1012.630	373.452	322.613
175	973.019	391.943	290.532	1024.290	376.825	323.732
176	938.542	422.762	257.890	1000.350	374.863	312.743
177	971.636	476.892	247.372	656.731	369.355	143.433
178	928.430	533.021	227.705	731.664	291.127	220.262
179	1000.350	529.762	235.292	720.799	269.845	225.477
180	1003.810	529.126	237.345	717.670	264.892	226.389
181	1014.030	520.591	246.719	714.956	253.165	230.296
182	1050.770	560.665	245.053	784.273	167.886	308.133
183	1020.430	514.138	253.122	707.916	260.205	223.256
184	1008.320	524.624	241.850	712.847	269.711	221.568
185	1005.070	525.050	240.009	715.767	274.868	220.449
186	993.458	527.995	232.731	726.346	296.433	214.956
187	969.769	478.712	245.529	659.884	366.731	146.577
188	769.525	445.138	162.194	568.855	438.698	65.079
189	598.063	235.287	181.388	831.982	624.864	103.559
190	603.133	222.027	190.553	830.759	618.251	106.254
191	604.573	218.863	192.855	831.802	616.019	107.891
192	617.526	217.728	199.899	827.340	591.252	118.044
193	468.811	.735	234.038	1087.020	773.909	156.555
194	620.759	214.495	203.132	821.636	596.907	112.390
195	604.682	218.755	192.963	831.602	616.213	107.698
196	603.151	222.010	190.571	830.730	618.279	106.226
197	600.861	232.492	184.184	826.926	629.912	98.507
198	766.025	448.622	158.701	576.962	430.596	73.183

		SUPERIOR		INFERIOR		
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
199	105.316	-164.353	134.035	278.149	32.567	122.791
200	53.824	-122.730	93.777	175.606	61.786	56.910
201	55.932	-125.983	90.911	182.276	67.929	57.173
202	55.092	-125.301	90.197	183.001	72.466	55.268
203	41.794	-114.660	78.227	185.475	97.928	43.774
204	-10.161	-98.583	44.263	123.682	76.618	23.532
205	29.221	-102.691	66.256	202.002	91.317	60.383
206	44.845	-115.060	79.953	196.999	58.462	69.268
207	45.459	-115.619	80.539	196.147	54.056	71.046
208	46.759	-116.666	81.712	191.881	45.514	73.184
209	93.963	-152.994	123.479	289.567	21.159	134.204
210	52.300	13.166	19.567	-.234	-27.054	13.410
211	28.553	9.475	9.539	-1.334	-19.171	2.919
212	29.085	8.188	10.442	.050	-18.092	9.071
213	28.864	9.270	9.797	-.143	-16.579	8.218
214	25.894	13.266	6.314	-4.521	-16.660	6.070
215	7.515	4.047	1.734	-6.000	-14.108	4.094
216	28.033	11.124	8.455	-8.299	-12.886	2.293
217	30.883	7.245	11.819	-3.476	-13.251	4.382
218	31.175	6.092	12.541	-3.173	-14.872	5.949
219	31.418	6.610	12.404	-6.162	-14.338	4.085
220	55.078	10.397	22.341	-5.669	-21.621	7.976
221	5.026	-3.010	4.013	8.006	1.145	3.431
222	-2.113	-4.354	1.118	6.137	3.317	1.435
223	-1.259	-3.746	1.244	3.952	2.811	.570
224	-1.097	-3.368	1.136	3.572	2.419	.576
225	.374	-3.951	2.162	2.781	-1.182	1.981
226	-2.004	-8.068	3.032	4.179	-2.333	3.256
227	.436	-4.016	2.226	2.718	-1.123	1.921
228	-1.701	-2.770	.534	4.157	1.830	1.163
229	-1.758	-3.253	.748	4.534	2.226	1.154
230	-1.843	-4.629	1.393	5.928	3.574	1.177
231	5.192	-3.172	4.182	7.807	1.340	3.233

UASO ADEF						
SUPERIOR			INFERIOR			
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
232	7.254	1.141	3.057	1.869	-2.390	2.380
233	.681	-1.364	1.023	2.870	.022	1.424
234	.662	-.663	.663	1.025	-.601	.843
235	1.689	-.233	.961	-.020	-1.491	.736
236	2.511	-1.311	1.911	.143	-3.228	1.716
237	-1.732	-5.338	1.803	3.221	-1.819	2.519
238	2.654	-1.458	2.056	-.024	-3.124	1.550
239	1.654	-.204	.929	.029	-1.543	.786
240	.685	-.692	.688	1.071	-.590	.831
241	.805	-1.489	1.147	2.774	.115	1.330
242	7.285	1.112	3.087	1.830	-2.856	2.343
243	5.094	.616	2.239	1.071	-2.105	1.588
244	.772	-1.393	1.082	2.491	.048	1.221
245	.333	-1.103	.718	1.539	-.430	.924
246	1.518	-.610	1.064	.154	-1.456	.805
247	1.623	-1.530	1.576	.312	-2.252	1.282
248	-1.407	-3.734	1.163	2.464	-1.120	1.792
249	1.524	-1.434	1.479	.431	-2.374	1.402
250	1.537	-.635	1.086	.133	-1.438	.726
251	.379	-1.155	.767	1.507	-.400	.954
252	.645	-1.269	.957	2.591	-.056	1.324
253	5.023	.688	2.168	1.164	-2.204	1.684
254	3.450	.365	1.543	.641	-1.446	1.044
255	.917	-1.064	.991	1.867	-.131	.999
256	.437	-1.072	.755	1.516	-.519	1.018
257	1.429	-.668	1.048	.254	-1.450	.852
258	1.178	-1.368	1.273	.338	-1.651	.995
259	-.949	-2.415	.733	1.651	-.746	1.198
260	1.009	-1.201	1.105	.528	-1.844	1.186
261	1.478	-.722	1.100	.194	-1.394	.794
262	.503	-1.144	.823	1.466	-.473	.969
263	.728	-.879	.803	2.022	-.291	1.156
264	3.357	.456	1.450	.761	-1.572	1.166

		DASO		ADEP			
-----		SUPERIOR		-----		INFERIOR	
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	
265	2.208	.119	1.044	.442	-.944	.693	
266	.917	-.843	.880	1.361	-.265	.813	
267	.593	-.994	.793	1.358	-.617	.988	
268	1.241	-.757	.999	.414	-1.306	.860	
269	.879	-1.174	1.026	.402	-1.195	.799	
270	-.571	-1.419	.424	1.003	-.456	.731	
271	.699	-.996	.847	.596	-1.391	.994	
272	1.285	-.205	1.045	.366	-1.262	.814	
273	.647	-1.055	.851	1.313	-.577	.945	
274	.725	-.657	.691	1.525	-.435	.920	
275	2.118	.204	.957	.552	-1.060	.206	
276	1.286	-.112	.699	.346	-.603	.475	
277	.830	-.736	.783	.998	-.373	.686	
278	.724	-.912	.818	1.167	-.701	.934	
279	1.037	-.832	.935	.573	-1.124	.348	
280	.723	-.962	.843	.460	-.872	.669	
281	-.273	-.654	.191	.517	-.209	.363	
282	.563	-.804	.683	.628	-1.047	.238	
283	1.063	-.862	.962	.548	-1.103	.826	
284	.757	-.952	.855	1.138	-.676	.907	
285	.659	-.572	.616	1.150	-.531	.841	
286	1.205	-.037	.621	.433	-.703	.570	
287	.698	-.219	.459	.227	-.595	.411	
288	.775	-.636	.705	.645	-.540	.593	
289	.816	-.826	.821	.954	-.755	.855	
290	.859	-.871	.865	.688	-.957	.823	
291	.617	-.829	.723	.564	-.589	.577	
292	-.117	-.245	.064	.349	.151	.099	
293	.485	-.700	.593	.703	-.730	.716	
294	.864	-.880	.872	.686	-.960	.823	
295	.827	-.843	.835	.943	-.751	.847	
296	.651	-.519	.585	.763	-.667	.715	
297	.639	-.167	.403	.278	-.656	.467	

SUPERIOR			INFERIOR			
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
298	-.077	-1.017	.470	.805	.071	.367
299	.670	-.845	.753	.827	-.419	.623
300	.830	-.791	.611	.813	-.810	.811
301	.676	-.942	.309	.763	-.632	.800
302	.820	-.232	.526	.354	-.771	.563
303	.763	.400	.101	.040	-.620	.330
304	.746	-.160	.453	.419	-.833	.628
305	.684	-.954	.219	.763	-.830	.796
306	.834	-.303	.819	.808	-.810	.809
307	.604	-.792	.698	.895	-.491	.693
308	-.081	-1.027	.473	.801	.070	.366
309	497.288	469.174	14.057	477.613	446.628	15.493
310	501.197	484.476	8.360	468.007	442.411	12.792
311	498.861	479.933	9.464	462.642	442.137	10.227
312	500.289	485.720	7.285	458.276	442.046	9.114
313	497.338	482.522	7.408	463.605	444.149	9.722
314	505.816	470.276	17.770	457.156	440.078	8.539
315	499.288	480.577	9.356	461.751	446.002	7.375
316	500.345	485.672	7.337	458.221	442.101	8.060
317	499.115	479.683	9.716	462.393	442.436	9.979
318	502.961	482.712	10.125	466.659	443.760	11.450
319	488.173	478.281	4.946	482.452	441.799	20.327
320	510.565	481.279	14.643	439.719	430.580	4.570
321	488.127	480.282	3.922	452.072	446.494	2.789
322	486.858	481.063	2.897	452.078	446.720	2.679
323	489.291	482.714	3.289	449.662	444.342	2.660
324	482.621	475.815	3.403	453.094	447.813	2.641
325	469.592	454.640	7.476	478.819	465.028	6.895
326	481.749	476.689	2.530	453.939	446.967	3.486
327	488.415	483.592	2.411	450.474	443.526	3.474
328	486.537	481.409	2.564	452.386	446.384	3.001
329	485.548	482.866	1.341	453.909	444.650	4.629
330	503.200	488.643	7.279	448.657	421.651	13.503

----- SUPERIOR -----				----- INFERIOR -----		
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
331	426.013	351.259	37.377	580.645	474.304	53.171
332	369.924	359.303	5.311	573.692	533.497	20.098
333	369.076	355.809	6.634	569.726	539.395	15.166
334	370.012	357.681	6.165	568.053	539.210	14.427
335	373.756	359.253	7.252	572.572	534.710	18.931
336	413.467	313.113	50.177	580.877	517.814	31.531
337	383.361	349.641	16.860	564.915	542.373	11.271
338	376.780	350.869	12.956	562.523	544.785	8.869
339	375.938	348.749	13.594	564.144	545.134	9.430
340	381.113	348.118	16.497	566.265	540.915	12.675
341	429.808	347.645	41.021	577.725	477.002	50.361
342	508.154	477.508	15.323	492.434	438.134	29.650
343	598.381	565.184	16.599	391.398	340.892	25.253
344	596.782	566.157	15.313	394.740	347.733	23.504
345	601.491	569.790	15.851	391.827	342.463	24.182
346	605.622	573.793	15.914	384.769	345.503	19.633
347	695.263	642.938	26.163	312.462	255.657	28.403
348	592.576	586.860	2.858	390.202	340.047	25.078
349	593.238	578.399	7.420	395.366	339.449	27.958
350	589.895	574.109	7.893	397.525	343.216	26.854
351	589.981	573.172	8.405	395.436	337.350	29.044
352	514.778	469.958	22.410	488.411	438.331	25.040
353	742.974	718.441	12.267	243.295	190.526	26.385
354	625.539	601.265	12.137	360.741	316.078	22.332
355	585.653	563.496	11.078	392.795	356.510	18.142
356	605.140	585.057	10.042	377.402	327.497	24.953
357	579.973	554.425	12.774	398.260	353.003	22.628
358	465.306	421.602	21.852	544.201	487.753	28.224
359	582.007	551.682	15.163	397.236	354.881	21.178
360	604.633	582.667	10.983	378.042	330.069	23.986
361	588.339	559.707	14.316	391.269	359.564	15.853
362	624.218	606.388	8.915	360.448	312.669	23.889
363	748.868	712.439	18.214	236.625	195.885	20.370

----- SUPERIOR -----				----- INFERIOR -----		
NO	SIGNA1	SIGNA2	SIG1-SIG2	SIGNA1	SIGNA2	SIG1-SIG2
364	409.368	298.220	55.574	559.254	513.217	23.318
365	410.078	385.022	12.528	534.179	502.614	15.723
366	350.093	324.281	12.906	589.481	536.626	25.928
367	384.904	363.660	10.622	549.225	506.245	21.490
368	337.530	330.910	3.310	594.239	525.725	34.227
369	405.860	356.189	24.836	561.197	495.623	32.727
370	357.612	315.000	21.306	584.901	532.570	26.165
371	391.650	367.179	12.236	541.003	509.603	15.713
372	358.304	319.356	19.474	523.739	528.002	22.269
373	408.507	375.626	16.441	534.536	507.742	13.394
374	406.810	236.058	60.376	568.512	515.227	26.643
375	504.569	406.467	49.051	484.592	402.023	41.255
376	513.409	437.437	37.986	498.217	413.639	39.764
377	521.283	493.452	13.916	455.289	386.357	34.466
378	539.013	450.047	44.483	504.120	320.633	61.743
379	546.365	487.587	29.389	413.811	401.779	6.016
380	491.332	428.442	31.445	495.577	441.322	27.127
381	516.113	505.129	5.492	431.732	393.709	19.012
382	488.339	471.814	8.263	477.565	431.949	22.808
383	548.834	522.940	12.947	416.698	367.466	24.616
384	539.154	453.415	42.869	476.627	404.440	36.094
385	567.236	393.628	86.804	458.345	393.887	37.229
386	490.617	323.636	83.491	551.705	350.155	100.775
387	635.438	614.650	10.394	317.967	263.346	27.311
388	460.544	390.945	34.799	559.157	505.960	26.598
389	612.474	564.107	24.183	399.521	316.124	41.699
390	548.214	486.356	30.929	454.177	410.092	22.043
391	564.423	507.938	28.243	409.748	368.525	20.611
392	520.953	368.208	76.372	520.548	305.784	111.882
393	421.027	362.336	29.345	589.003	485.654	51.675
394	604.013	564.264	19.874	391.537	324.768	33.385
395	531.828	484.592	23.618	474.269	405.661	34.304
396	597.240	563.820	16.710	398.366	319.590	39.388

SUPERIOR				INFERIOR		
NO	SIGNA1	SIGNA2	SIG1-SIG2	SIGNA1	SIGNA2	SIG1-SIG2
397	476.177	284.612	95.782	592.409	509.955	41.227
398	351.074	308.303	21.386	656.240	553.429	42.276
399	512.436	429.778	41.329	503.833	372.257	65.488
400	651.829	592.550	29.640	323.694	229.262	47.216
401	479.033	360.846	59.093	510.536	450.833	29.252
402	463.195	352.049	55.573	609.870	523.312	40.529
403	440.377	347.464	46.457	656.877	571.338	42.770
404	450.235	338.704	55.766	653.910	556.769	48.571
405	448.951	334.762	57.095	657.095	557.269	49.313
406	460.735	339.300	60.717	646.229	541.599	52.315
407	478.382	328.140	75.121	717.403	509.371	103.766
408	468.934	331.101	68.917	634.828	553.000	40.214
409	456.542	327.171	64.686	646.765	567.599	39.583
410	457.659	331.284	63.188	643.756	565.919	38.419
411	448.636	339.205	54.715	645.626	582.532	31.517
412	469.790	345.461	62.164	598.724	529.896	29.444
413	449.056	440.453	4.302	499.540	472.909	13.315
414	472.826	465.729	3.549	472.645	469.823	1.411
415	475.754	464.767	5.493	472.897	463.640	4.628
416	471.864	460.320	5.772	477.723	466.593	5.565
417	478.954	464.304	7.325	466.603	457.740	4.432
418	518.544	476.229	21.158	460.267	429.225	15.521
419	478.441	464.816	6.812	467.355	456.991	5.182
420	473.221	458.959	7.131	475.820	468.498	3.661
421	476.324	464.169	6.077	472.107	464.456	3.826
422	472.714	465.833	3.441	472.893	469.581	1.656
423	456.053	433.466	11.293	494.487	477.961	8.263
424	580.389	474.463	52.963	427.569	349.797	38.886
425	570.214	530.997	19.608	372.203	363.258	4.473
426	566.304	537.067	14.618	371.976	359.249	6.364
427	564.408	536.601	13.904	373.183	361.706	5.739
428	569.795	532.509	18.643	375.984	362.942	6.521
429	575.491	511.856	31.818	420.915	317.905	51.505

----- SUPERIOR -----				----- INFERIOR -----		
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
430	562.490	539.821	11.335	385.640	353.279	16.120
431	559.555	541.429	9.033	379.459	355.386	12.037
432	561.354	542.224	9.565	378.290	352.736	12.777
433	563.077	538.124	12.477	383.525	351.940	15.792
434	577.744	476.886	50.429	430.890	346.657	42.116
435	493.187	432.684	30.251	508.055	477.120	15.432
436	391.920	340.590	25.665	598.368	565.193	16.537
437	395.287	348.019	23.634	596.280	565.864	15.208
438	392.374	343.909	24.232	600.880	569.504	15.638
439	385.244	346.150	19.547	604.744	573.596	15.574
440	312.526	256.135	28.196	695.192	642.851	26.174
441	390.458	340.914	24.772	592.245	526.116	3.065
442	395.807	340.001	27.903	592.818	577.922	7.442
443	398.006	344.170	26.918	589.469	573.740	7.865
444	395.894	337.112	29.391	590.002	573.147	8.428
445	489.053	437.991	25.531	514.900	469.411	22.745
446	243.614	190.277	26.669	742.840	718.475	12.133
447	360.973	315.779	22.597	625.676	601.243	12.217
448	392.919	356.290	18.315	585.757	563.475	11.141
449	377.343	327.412	24.966	605.150	585.188	9.981
450	398.062	353.025	22.518	579.963	554.632	12.665
451	543.649	487.885	27.882	465.361	421.986	21.688
452	396.991	354.950	21.021	582.076	551.810	15.133
453	377.934	330.032	23.951	604.761	582.681	11.040
454	391.319	359.417	15.951	588.534	559.595	14.469
455	360.626	312.423	24.102	624.473	606.248	9.113
456	236.855	195.726	20.565	748.936	712.269	18.334
457	559.817	513.269	23.274	409.173	298.382	55.395
458	534.121	502.674	15.724	409.924	385.185	12.369
459	588.447	536.670	25.889	349.955	324.407	12.774
460	549.261	506.241	21.510	384.845	363.687	10.579
461	594.315	525.735	34.290	337.429	330.974	3.227
462	561.254	495.600	32.827	405.733	356.290	24.722

----- SUPERIOR -----				----- INFERIOR -----		
NO	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2	SIGMA1	SIGMA2	SIG1-SIG2
463	534.923	532.575	26.174	357.661	314.914	21.373
464	541.012	509.661	15.676	391.690	367.116	12.282
465	593.668	538.083	22.792	353.265	319.383	19.441
466	534.453	507.832	13.310	408.409	375.732	16.338
467	568.452	515.302	26.575	406.626	286.209	60.208
468	424.581	402.100	41.240	504.526	406.510	49.008
469	498.226	418.683	39.771	513.385	437.456	37.964
470	455.245	386.399	34.423	521.134	493.550	13.822
471	504.105	380.642	61.732	533.996	450.076	44.460
472	413.771	401.806	5.982	546.439	487.522	29.459
473	495.569	441.308	27.131	491.407	428.400	31.504
474	431.761	393.668	19.046	516.175	505.077	5.549
475	477.535	431.972	22.782	488.360	471.805	3.278
476	416.633	367.530	24.552	542.817	522.965	12.926
477	476.656	404.414	36.121	539.154	453.400	42.872
478	458.329	383.909	37.210	567.189	393.675	86.757
479	551.755	350.113	100.821	490.602	323.638	83.482
480	318.021	263.296	27.363	635.432	614.653	10.390
481	559.174	505.942	26.616	460.537	390.955	34.791
482	399.463	316.172	41.646	612.487	564.101	24.193
483	454.215	410.054	22.080	548.201	486.372	30.915
484	409.776	368.503	20.636	564.458	507.899	28.280
485	529.599	305.741	111.929	520.944	368.205	76.369
486	589.032	485.634	51.699	421.029	362.327	29.351
487	391.554	324.750	33.402	604.022	564.256	19.883
488	474.245	405.680	34.282	531.836	484.584	23.626
489	398.369	319.585	39.392	597.239	563.823	16.708
490	592.408	509.965	41.222	476.185	284.597	95.794
491	656.245	558.486	48.880	351.074	308.303	21.386
492	503.827	372.860	65.484	512.438	429.777	41.331
493	323.694	229.263	47.216	651.827	592.553	29.637
494	510.536	450.833	29.852	479.033	360.846	59.094

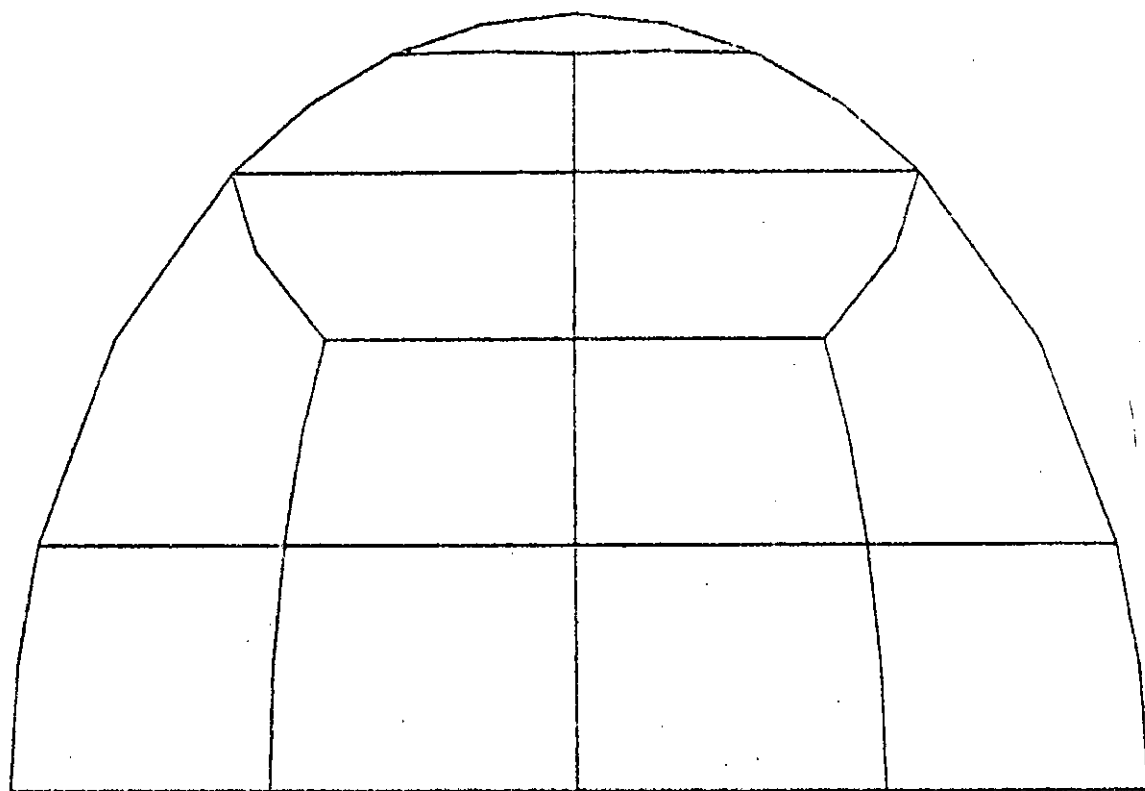
EXEMPLO 3

r

MALHAS DO PROGRAMA ADEP

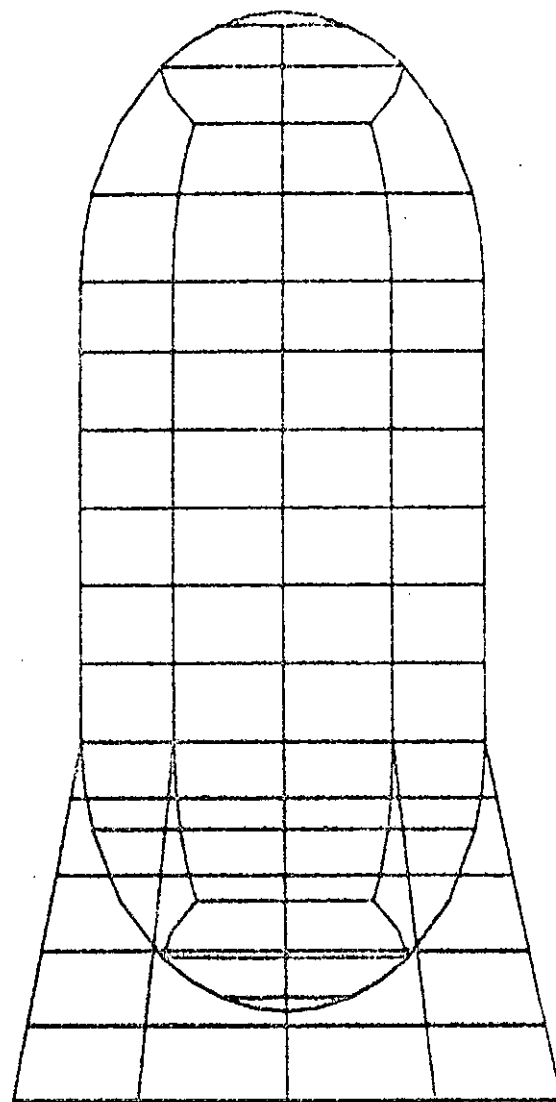
ELEMENTO SIEL

EXEMPLO 1

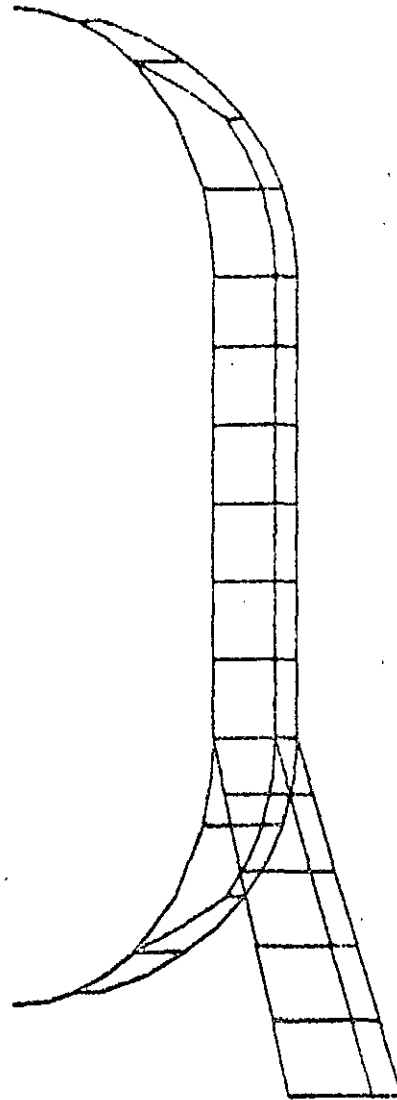


ESFERA SUFEITO A PRESSAO INTERNA - ADEP-SIEL
PERSPECTIVE FROM XZ PROJECTION - ANGLES: -45, 0, 0.

EXEMPLO 2



VASO SUJEITO A PRESSAO INTERNA ADEP-SIEL
 PERSPECTIVE FROM XZ PROJECTION - ANGLES: -45, 0, 0.



VASO SUJEITO A PRESSAO INTERNA ADEP-SIEL
PERSPECTIVE FROM YZ PROJECTION - ANGLE: -45, 0, 0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BICKELL, M. B. and RUIZ, C. - "Pressure Vessel Design and Analysis" - MacMillan and Company Limited, 1967.
- (2) BROWNELL, L. E and YOUNG, E. H - "Process Equipment Design" J. Wiley - New York, 1959.
- (3) JAWAD, M. H. and FARR, J. R. - "Structural Analysis and Design of Process Equipment" - John Wiley & Sons, 1984.
- (4) Código ASME - Seção VIII - Pressure Vessel - Divisão 1 e Divisão 2 - Edição de 1983.
- (5) SILVA, Adelino C. L. da - "Vasos de Pressão" - Petrobrás, 1984.
- (6) TIMOSHENKO, S. P. and GOODIER, J. N. - "Theory of Elasticity" - McGraw-Hill Kogakusha, Ltd - 1970.
- (7) TIMOSHENKO, S. P. - "Resistência dos Materiais" - Livro Técnico S.A., 1981.
- (8) ZIENKIEWICZ, O. C. - "The Finite Element Method in Engineering Science" - 3rd Edition, McGraw-Hill, 1977.

- (9) BATHE, K. J. and WILSON, E. L. - "Numerical Methods in Finite Element Analysis" - Prentice-Hall, 1976.
- (10) EDES - Especificação dos Dados Estruturais - Manual do Usuário.
- (11) ANPE - Análise de Projetos Estático - Manual do Usuário.
- (12) ADEP-GRAFIC - Comandos de Computação Gráfica - Manual do Usuário.
- (13) COSTA, A. M. - "Análise Dinâmica Elasto-Plástica de Transiente de Curta Duração Incluindo os Efeitos da Interação Solo-Fluído-Estrutura" , Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, 1978 - Programa AEPES.
- (14) FLÜGGER, W. - "Stresses in Shells" - Springer-Verlang - Berlin 1960.
- (15) GRAVINA, P. B. J - "Teoria e Cálculo das Cascas de Revolução", São Paulo 1957.
- (16) RIBEIRO, F. L. B. - "Formulação Hierárquica do Método dos Elementos Finitos: Refinamento Auto-Adaptativo Versão Aplicado a Problemas de Elasticidade", Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, 1986.